



Universidad
Zaragoza

Trabajo Fin de Grado

La Rehabilitación del Hueco

The Window's Rehabilitation

Autor/es

Omar Páez Albitre

Director/es

Santiago Carroquino Larraz

Escuela de Ingeniería y Arquitectura
2017



(Este documento debe acompañar al Trabajo Fin de Grado (TFG)/Trabajo Fin de Máster (TFM) cuando sea depositado para su evaluación).

D./D^a. Omar Páez Albitre

con nº de DNI 73018566Y en aplicación de lo dispuesto en el art.

14 (Derechos de autor) del Acuerdo de 11 de septiembre de 2014, del Consejo de Gobierno, por el que se aprueba el Reglamento de los TFG y TFM de la Universidad de Zaragoza,

Declaro que el presente Trabajo de Fin de (Grado/Máster)
Grado _____, (Título del Trabajo)

La rehabilitación del hueco

es de mi autoría y es original, no habiéndose utilizado fuente sin ser citada debidamente.

Zaragoza, 21 Abril 2017

Fdo: Omar Páez Albitre



LA REHABILITACIÓN DEL HUECO

Autor

Omar Páez Albitre

Director

Santiago Carroquino Larraz

Universidad de Ingeniería y Arquitectura

Zaragoza

2017



“La mejor arquitectura es una ventana” (J. Pallasma)

RESUMEN

Este trabajo, va dirigido a la investigación, en la rehabilitación de edificios con cierto valor patrimonial, las necesidades y posibilidades de un único elemento: el hueco.

La arquitectura del siglo XXI va a tener que dar respuesta a los nuevos problemas demográficos, ecológicos y económicos en el mundo de la construcción y una de las posibles vías es a través de la rehabilitación. En este campo, el elemento de estudio juega un papel crucial, pues su correcto planteamiento y ejecución supone un ahorro energético muy elevado así como un gran abanico de posibilidades.

Remontándonos a sus orígenes, estudiaremos los elementos que lo han ido componiendo en las distintas arquitecturas y cómo ha evolucionado hasta conseguir el aspecto minimalista que muestran en muchos proyectos contemporáneos.

Con toda esta información, realizaremos una discusión teórica sobre la forma correcta de actuar ante edificios con valor histórico en la actualidad. Para ello, recurriremos a diferentes arquitectos que hayan destacado en sus intervenciones de edificios preexistentes.

Finalmente, se buscará una síntesis entre esta búsqueda del respeto histórico y las nuevas técnicas de acondicionamiento energético y se realizará un análisis de diversas intervenciones en las que la rehabilitación del hueco haya tenido un papel protagonista.

PALABRAS CLAVE: #hueco #rehabilitación #eficiencia #energía #aislamiento #soleamiento

ABSTRACT

This research is led to the investigation, in the rehabilitation of buildings with a certain historic value, the needs and the possibilities of just one element: the window.

The architecture of the XXI century will have to give an answer to the ecologic and economic problems in the construction world and, one possibility, is through the rehabilitation. In that field, the window has a very important role because, a correct approach, involve a substantial energy saving and some other advantages.

We will check its origins studying the elements that have composed it and we will also study how it has evolve till the apparently simply aspect that we can see in several contemporary buildings.

With all this information, we will argue about the correct way of acting with historic building covering different famous architects and, after it, we will study different strategies and steps to follow in order to achieve the energetic rehabilitation of the buildings.

Finally, looking for the synthesis between the respect of the historic value of the building and its energetic rehabilitation we will make a review of different projects that have as its protagonist the window.

KEY WORDS: #window #rehabilitation #efficiency #energy #insulation #sunning

0	LA NECESIDAD DE LA REHABILITACIÓN	6
0.1	DESARROLLO SOSTENIBLE	7
0.2	EL PROBLEMA DE LA REHABILITACIÓN	8
1	EL HUECO	9
1.1	FUNCIONES BÁSICAS	9
1.2	RECORRIDO HISTÓRICO	11
1.3	PARTES DEL HUECO	12
1.4	LAS POSIBILIDADES DE LA CARPINTERÍA	14
1.5	LAS POSIBILIDADES DE LA HOJA DE VIDRIO	15
1.6	COMBINACIÓN DE CARPINTERIA Y HOJA	16
1.7	LOCALIZACION DE LA HOJA	17
1.8	ORIENTACIONES ÓPTIMAS	17
1.9	LA ILUMINACIÓN NATURAL	18
2	DB-HE. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL HUECO	20
2.1	CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS	22
3	LA REHABILITACIÓN Y EL HUECO	23
3.1	¿CÓMO ACTUAR ANTE EDIFICIOS CON VALOR HISTORICO?	23
3.2	ESTRATEGIAS Y PASOS A SEGUIR EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA	25
4	CASOS DE ESTUDIO	29
4.1	ESCUELA PRIMARIA EN DÜSSELDORF, ALEMANIA. KLAUS LEGNER Y MICHAEL VAN OOYEN	30
4.2	OLIVÉ GUMÁ CLINIC, BARCELONA, ESPAÑA. OCTAVI MESTRE Y GUIM COSTA	37
4.3	MUSEO DEL AGUA, PALENCIA, ESPAÑA. MID ESTUDIO	43
4.4	MUSEO Y CENTRO DE EXPOSICIONES EN VEENHUIZEN, HOLANDA. ATELIER KEMPE THILL	49
4.4.1	CUMPLIMIENTO DE LA TRANSMITANCIA MÁXIMA	49
5	CONCLUSIONES	56
6	BIBLIOGRAFÍA	59
6.1	REFERENCIA DE IMÁGENES	61

0 LA NECESIDAD DE LA REHABILITACIÓN

El proyecto Dom-ino propuesto por Le Corbusier en el año 1915 [Fig. 1] pretendía industrializar el proceso arquitectónico para solucionar el rápido crecimiento demográfico que estaba experimentando occidente a través de una nueva forma de expresión arquitectónica (Giedion 1941)

Un siglo más tarde, los problemas a los que se tiene que enfrentar el mundo de la construcción han cambiado. El aumento de la población, al menos en occidente, se ha ralentizado y existen gran cantidad de estructuras que necesitan actualizarse a las técnicas, tecnologías y normativas del siglo XXI. Además, los problemas de contaminación y disponibilidad de materia prima reafirman la necesidad de focalizar la mirada hacia estos viejos edificios obsoletos o en mal funcionamiento. Planteamiento que para muchos arquitectos ha dejado de ser una cuestión meramente urbanística o de conservación de monumentos históricos, para convertirse en una necesidad económica y ecológica. (Schittich 2006)

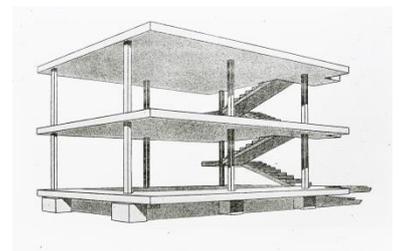


Fig. [1] - Proyecto Dom-inó de Le Corbusier (1915). Representación de una idea arquitectónica como posibilidad de industrializar el proceso constructivo a partir del esqueleto de hormigón armado. Fuente: (Giedion 1941)



Fig. [2] - Gro Harlem Brundtland, doctora y ex ministra noruega que encabezó la comisión que elaboró el informe Brundtland en 1987. Fuente: Wikipedia (2017)

0.1 DESARROLLO SOSTENIBLE

El Informe Brundtland de 1987 (Brundtland 1987) define como desarrollo sostenible: “*El desarrollo que satisface las necesidades de la generación presente sin comprometer la capacidad de las generaciones futuras para satisfacer sus propias necesidades*”. Su objetivo, era replantear y criticar las tendencias globalizadoras y de crecimiento económico que estaban suponiendo un gran impacto medioambiental planetario. Desde entonces, con más o menos fuerza, iniciativas en contra del cambio climático aparecen desde diferentes organizaciones públicas para intentar, por lo menos, ralentizar y disminuir el problema y sus consecuencias.

En este contexto, el sector de la edificación toma un rol fundamental debido a su gran participación. Por ejemplo, en España, el consumo energético de la construcción se estima que representa el 40% del consumo energético total (Azpilicueta 1995). Las nuevas políticas urbanísticas, buscan cambiar la tendencia edificatoria previa a la crisis inmobiliaria que se caracterizaba por ser un modelo poco amigo de la sostenibilidad tal y como la estamos definiendo. Estas nuevas estrategias “ponen de manifiesto la necesidad de un nuevo modelo productivo y cultural basado en el equilibrio entre los factores sociales, ambientales y económicos” (López-Mesa, y otros 2013).

Reflejo de estas iniciativas, en Europa, medidas de remodelación y rehabilitación han alcanzado unos valores considerables (casi el 40% en 2006) (Schittich 2006). Sin embargo, esta tendencia, ha tardado unos años más en España debido a que, en esas fechas, estábamos en pleno auge de la burbuja inmobiliaria y tras la crisis, ha habido un gran parón en el panorama arquitectónico español. Esta afirmación se refleja en el número de viviendas rehabilitadas y el presupuesto invertido en ellas en comparación con las viviendas de nueva planta desde el año 2000 al 2012. [Fig. 3 y 4]

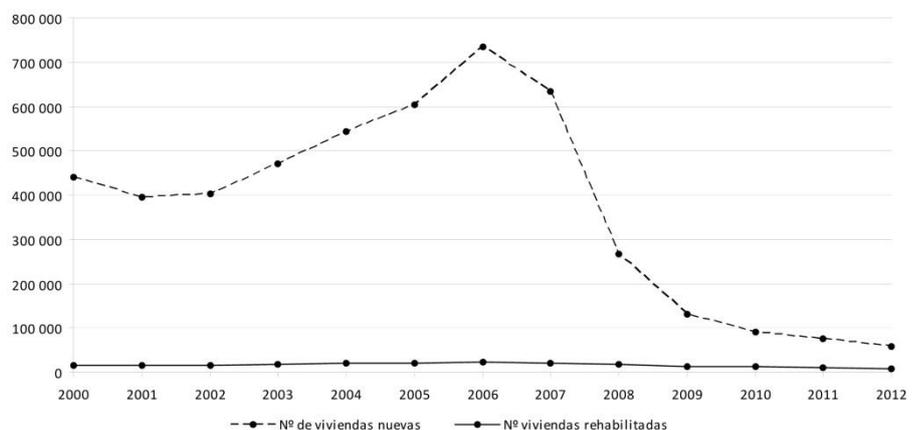


Fig. [3] Relación entre el número de viviendas de nueva planta y viviendas rehabilitadas en España desde el año 2000 al 2012. Fuente: informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

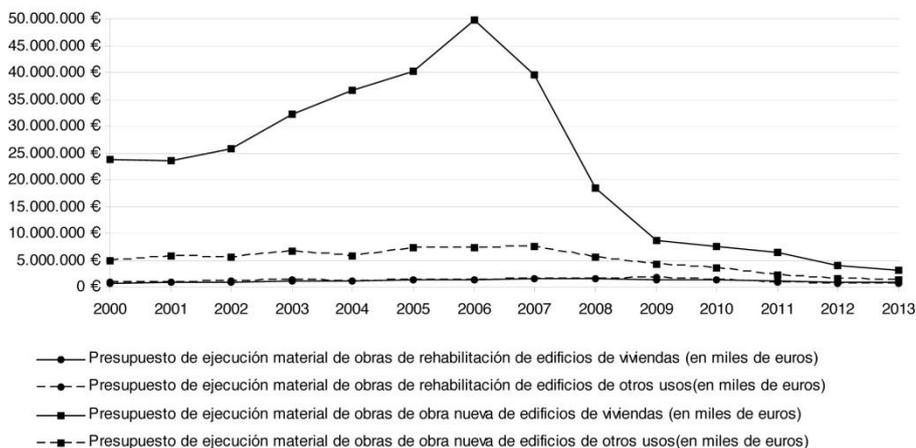


Fig. [4] - Relación entre el presupuesto invertido en rehabilitación y construcciones de nueva obra para viviendas y edificios de otros usos en España desde el año 2000 al 2013. Fuente: informesdelaconstruccion.revistas.csic.es

0.2 EL PROBLEMA DE LA REHABILITACIÓN

A grandes rasgos, podríamos diferenciar entre dos tipos de intervenciones en edificios existentes: rehabilitaciones integrales que incluyen la estructura o rehabilitaciones parciales [Fig. 5] del interior o de envoltante que pretenden solucionar problemas térmicos, lumínicos, acústicos, de impermeabilización, salubridad... que suponen un gran ahorro de material y trabajo al aprovechar la energía embebida del propio edificio. Por ejemplo, en caso de realizar una intervención en que se plantee la sustitución total de las carpinterías, se plantee una nueva envoltante aislante y se cambien todas las instalaciones se estaría ahorrando aproximadamente un 60% de la inversión energética total necesaria para construir un edificio de nueva planta (Luxán, y otros 2009).

Pese a todas las ventajas que ofrecen este tipo de prácticas sobre todo, las que permiten aprovechar gran parte de la infraestructura intervenida, uno de sus mayores inconvenientes radica en la financiación. La gran mayoría de los edificios que precisan de una intervención son de carácter público o son de carácter residencial en los cuales viven personas mayores con una reducida capacidad económica, y las subvenciones lanzadas desde la administración pública son limitadas (Barrios Padura, y otros 2015). Por ello, resulta necesario investigar la máxima mejora energética del edificio preexistente a partir de la intervención en un único elemento: el hueco. Su correcto replanteamiento y ejecución supone un ahorro energético muy elevado con una intervención e inversión mínima en el edificio preexistente.

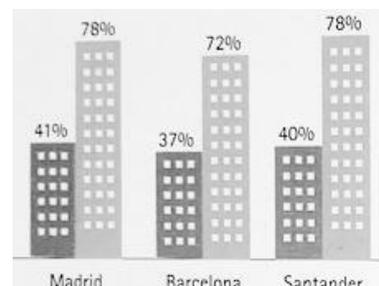


Fig. [5] - Ahorro energético alcanzable mediante rehabilitaciones parciales que planteen sistemas pasivos o sistemas activos y pasivos. Fuente: (Azpilicueta 1995)



Fig. [6] - Hueco limitado por la necesidad de transmisión de cargas. Muro de carga de piedra con dintel horizontal ayudado por la disposición arqueada de las piezas de mampostería superiores. Fuente: territorioveton.blogspot.com



Fig. [7] - Hueco limitado por la necesidad de transmisión de cargas. Muro de carga de piedra con dintel arqueado. Fuente: territorioveton.blogspot.com



Fig. [8] - Fachada norte del proyecto de 68 Viviendas Sociales en Zaragoza, España. Magén Arquitectos. El muro de fábrica no cumple una función estructural pero se plantea como un cerramiento masivo que aporte un buen comportamiento energético a norte. Esta configuración recuerda al hueco limitado por la transmisión de cargas pero el objetivo real, es la limitación de la pérdida energética. Fuente: Revista temas de arquitectura 13

1 EL HUECO

El hueco ha sufrido una gran evolución a lo largo de la historia pudiéndose analizar todos los periodos arquitectónicos a partir de las variedades que han surgido de este elemento. Razones funcionales y compositivas lo han guiado hasta acabar en la aparente sencillez que muestra en muchas obras contemporáneas.

En sus orígenes en la arquitectura vernácula, aparece como un pequeño fragmento extraído del muro estructural: “allí donde el muro se debilita para conseguir iluminar y ventilar” (Revista Téctónica 1997) [Fig. 6 y 7]. Tras la separación de fachada y estructura su concepto ha cambiado. Ahora, por motivos de limitar la conexión con el exterior y controlar la pérdida energética, tendemos a encerrarnos recuperando una imagen que recuerda al hueco “en el viejo muro” pero que, como vemos, poco tiene que ver con él [Fig. 8]

Por este motivo, existen gran cantidad de investigaciones y estudios que buscan dar solución a la pérdida energética que se produce en estos elementos a partir de agentes naturales. Estas investigaciones junto al desarrollo tecnológico de muchos materiales de cerramiento, han conseguido que el considerado “punto débil del muro”, participe en el acondicionamiento pasivo del edificio.

1.1 FUNCIONES BÁSICAS

Antes de comenzar el análisis de la evolución del hueco expondremos sus funciones básicas. Se resumirán en:

- La ventilación del interior, que dependerá en gran medida de la localización de los huecos en fachada y la geometría y compartimentación interior, siendo siempre más idónea la ventilación cruzada pues actúa por presión del viento y no solo por diferencias de temperatura. Según las diferentes posiciones del hueco en fachada se crearan una serie de corrientes de aire interiores. Corrientes que fueron estudiadas y analizadas por Olgay en sus ensayos de túneles de viento. (Roldán 2011) [Fig. 9]
- La iluminación, que variará sobre todo según la orientación del hueco, pudiéndonos encontrar la luz indirecta característica del norte y la luz directa de sur, que permite a su vez, la captación energética. El tamaño, componentes y la morfología del hueco también influirán en el tipo de luz que entrará al interior. (Deplaces 2005)
- Por último, la conexión interior - exterior habla de un tema psicológico del ser humano. Dependerá del emplazamiento del proyecto y sus alrededores así como de la necesidad de conexión de cada espacio con el exterior. (Deplaces 2005)

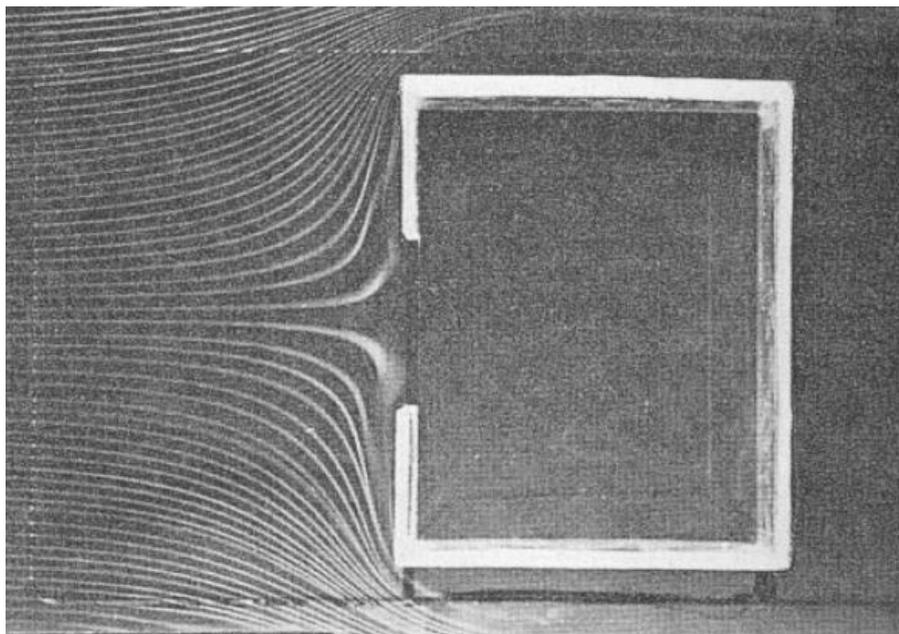


Fig. [9] – Ensayos de túneles de viento de Olgyay. Fuente: (Roldán 2011)

En la primera imagen podemos ver cómo el aire no penetra por presión de viento al haber solo un hueco, las corrientes se derivan hacia los laterales.

Sin embargo, en el resto de los ensayos en los que se disponen dos huecos en diferentes fachadas se generan diferentes corrientes de aire. En estos ensayos será interesante el aumento de la velocidad del aire cuando atraviesa huecos pequeños, sus diferentes recorridos según los obstáculos o posiciones de las aperturas.

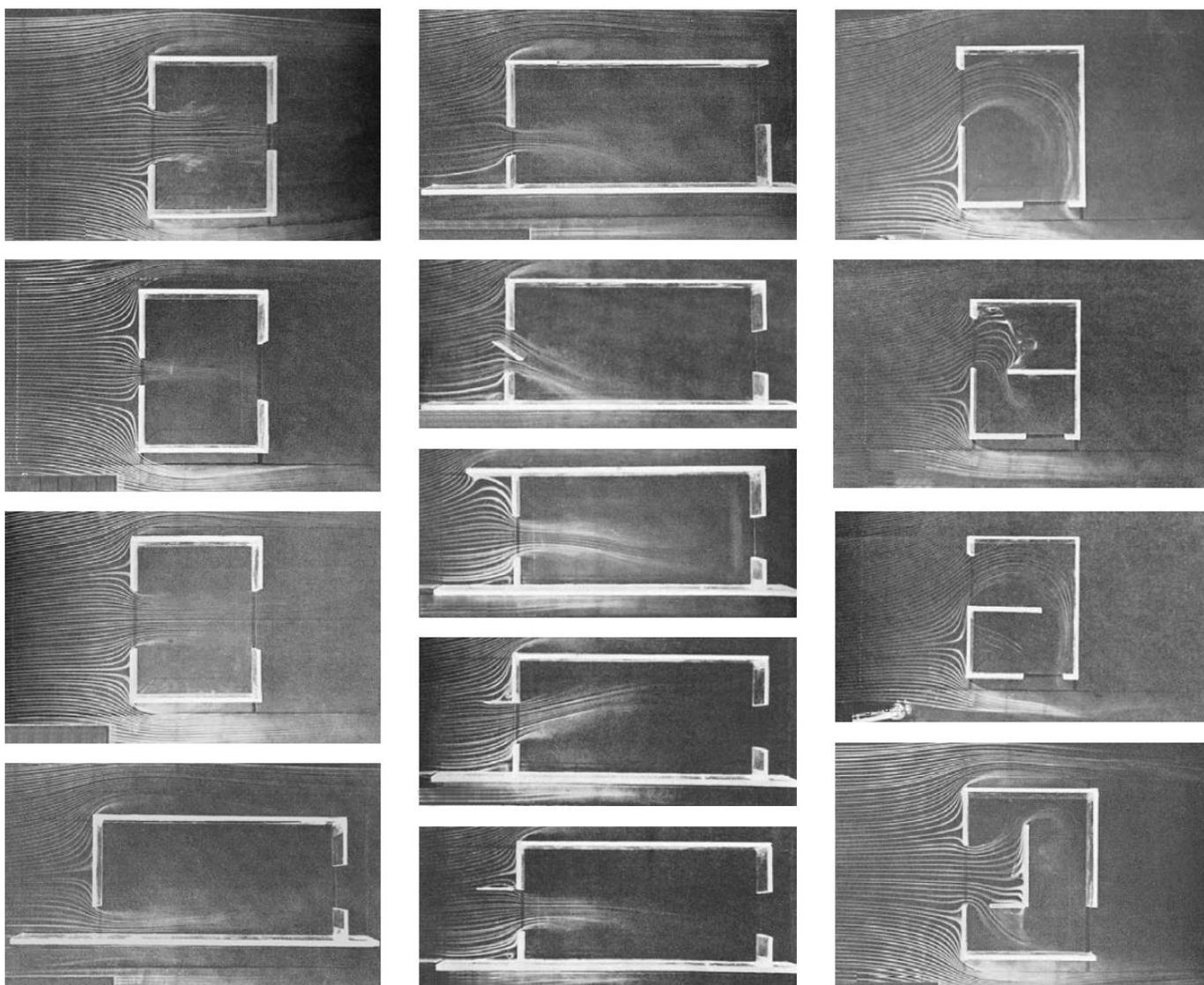




Fig. [10] - Tesoro de los atenienses ofrecido después de la victoria de Maratón (490 a.J.C.) al Apolo de Delfos. Fuente: (Planeta 1991)



Fig. [11] - Detalle de la fachada del Teatro Marcelo; construido en el año 13 a.J.C. Fuente: (Planeta 1991)



Fig. [12] - Interior del ábside de la iglesia de Paray-le-Monial. Construida a mediados del siglo XII. Fuente: (Planeta 1991)



Fig. [13] - Interior del ábside de la abadía de Westminster. Construida a mediados del siglo XIII. Fuente: (Planeta 1991)

1.2 RECORRIDO HISTÓRICO

Todas estas necesidades aparecieron ya en las primeras construcciones que planteó el ser humano a través de la arquitectura vernácula. Hasta en el concepto más básico de cueva existe el hueco-entrada que cumple las características nombradas. Además de en la arquitectura vernácula de las distintas regiones climáticas, el hueco también aparece en las arquitecturas singulares que se esparcieron por extensos territorios del planeta. Así pues, encontramos los rotundos y adintelados huecos griegos y los novedosos y arqueados huecos romanos. Los pequeños y profundos huecos del románico y los esbeltos y coloridos huecos del gótico. Los geométricos y estrictos huecos del Renacimiento y los orgánicos y ornamentados huecos del Barroco. (Kostof 1988-1998) [Fig. 10-15]

Estos ejemplos nombrados recogen la evolución del hueco planteado como apertura en el muro estructural, por tanto, limitado por la necesidad de transmisión de cargas. Pero, en la modernidad, se produce un importante punto de inflexión: El cerramiento se vuelve independiente de la estructura, gracias a los pilares metálicos y de hormigón armado. El hueco no tendrá ya limitación de tamaño como veremos en la obra de Le Corbusier con la *fenêtre longueur* (Deplaces 2005) [Fig. 16] y finalmente, en el minimalismo de los últimos modernistas como Mies Van der Rohe en el que podría hablarse de la desaparición del concepto tradicional de ventana.

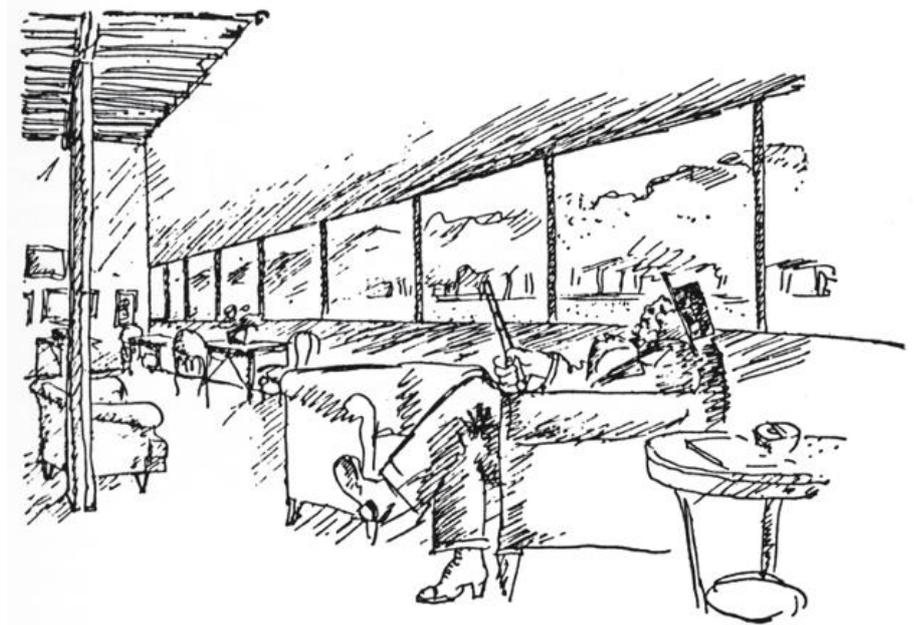
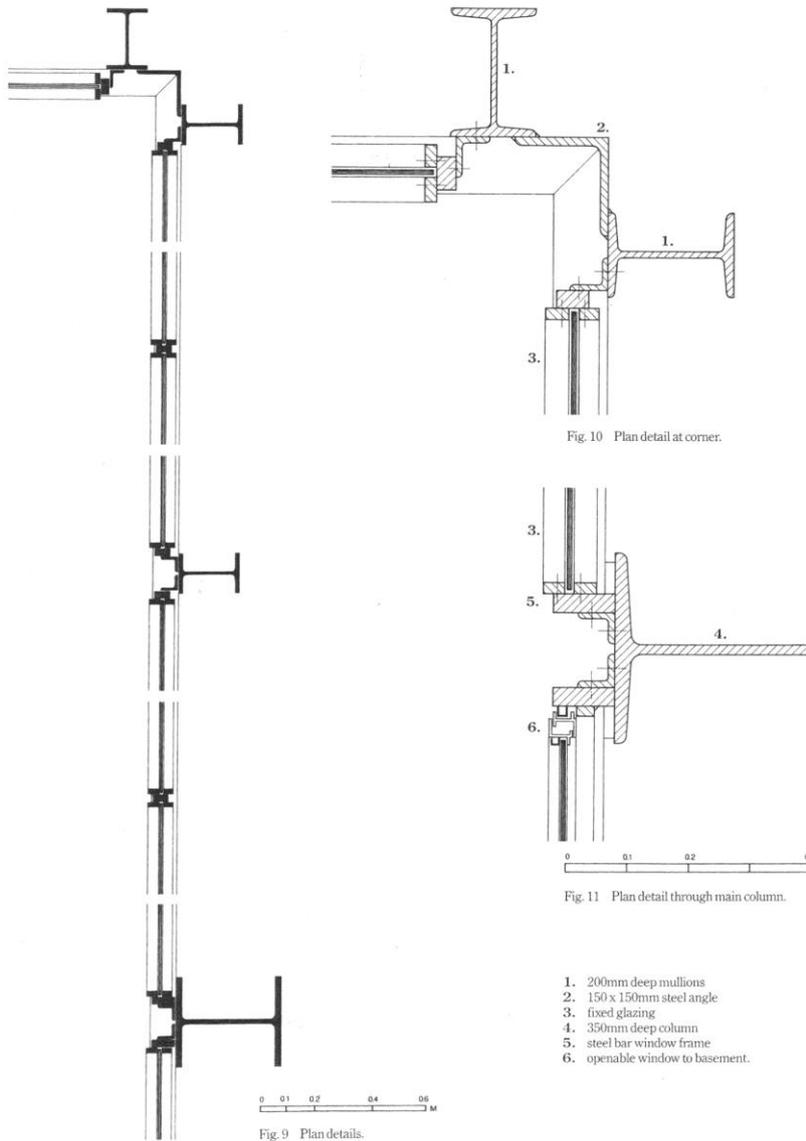


Fig. [16] - Dibujo de Le Corbusier, 1924. August Perret sentado en su galería de arte iluminada con la ventana corrida (o fenêtrre longueur) planteada por Le Corbusier. Fuente: (Deplaces 2005)

El problema estará ahora, como ya hemos nombrado, en limitar las pérdidas energéticas que supone disponer grandes aperturas en la fachada. Cuando Mies planteó edificios como el Crown Hall o el Seagram Building entre 1950 y 1958 la ecología estaba en un segundo plano, su esfuerzo se dirigía a “cómo vincular un espacio interior continuamente fluido con una configuración de formas nítidamente delimitadas” (Giedion 1941), la preocupación de los arquitectos no se centraba en que sus edificios consumieran 20 o 200 KW/m²K [Fig. 17]. Esta situación ha

cambiado y cada vez es más frecuente la aparición de edificios de bajo consumo o incluso, autosuficientes y el hueco, juega un papel crucial en este logro.



- 1. 200mm deep mullions
- 2. 150 x 150mm steel angle
- 3. fixed glazing
- 4. 350mm deep column
- 5. steel bar window frame
- 6. openable window to basement.



Fig. [14] - Fachada de la iglesia de Santa María Novella. Construida por Alberti entre 1458 y 1470. Fuente: (Planeta 1991)



Fig. [15] - Fachada del oratorio de San Felipe Neri. Construida por Borromini entre 1637 y 1649. Fuente: (Planeta 1991).

Fig. [17] - Detalle en planta del edificio Crown Hall de Mies Van der Rohe (1950-1956). Es de admirar la sencillez de la composición de la fachada pero, como vemos, no existe preocupación alguna por evitar los puentes térmicos que se producen en los encuentros entre carpintería y pilar. Fuente: es.pinterest.com

Finalmente, hay que tener en cuenta que aunque hayamos superado las limitaciones por la transmisión de cargas y aunque lleguemos a superar totalmente las limitaciones debidas a la pérdida energética, en la mayor parte de las arquitecturas (entre ellas la doméstica) se seguirá controlando el tamaño del hueco para mantener la privacidad necesaria de cada estancia.

1.3 PARTES DEL HUECO

Muy relacionado con su recorrido histórico están los distintos elementos que lo conforman y lo han conformado. Ignacio Paricio, en su estudio del hueco en la fachada, realiza una división general según el tipo de muro en el que aparece: muro portante, fachada convencional y fachada ventilada [Fig. 18]. Recopilando las categorías que nombra, podemos dividir las partes que conforman una ventana entre:

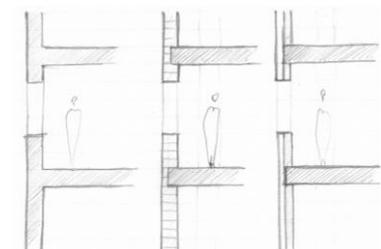


Fig. [18] - Fachada portante, fachada convencional y fachada ventilada. Fuente: Elaboración propia.

- o los elementos estructurales y de protección del propio muro
- o el marco, la carpintería y la hoja de vidrio
- o y los elementos de protección.

Desarrollemos cada uno de ellos:

- o Dentro de los elementos estructurales y de protección del propio muro encontramos el dintel-arco, la jamba, el alfeizar, el guardapolvos, el capirote, el alero, los contornos en revoco... Los elementos cuya función es estrictamente estructural son aquellos que permiten definir el contorno: el dintel-arco (trabajo a compresión-flexión correspondientemente) que transmite la carga a las jambas (trabajo a compresión) que a su vez, la transmiten al alfeizar, que devuelve las cargas al muro. Los demás componentes dibujados en el muro tratan de proteger del agua y el viento principalmente. Además en algunas corrientes arquitectónicas aparecen elementos cuya función es simplemente compositiva o elementos que poseían una tarea concreta pero cuya reinterpretación meramente estética la han privado de su funcionalidad. (Paricio 1995) [Fig. 20]



Fig. [20] - Reinterpretación estética del frontón que le ha privado de su función de evacuación de aguas. Fuente: (Revista Téctónica 1997)

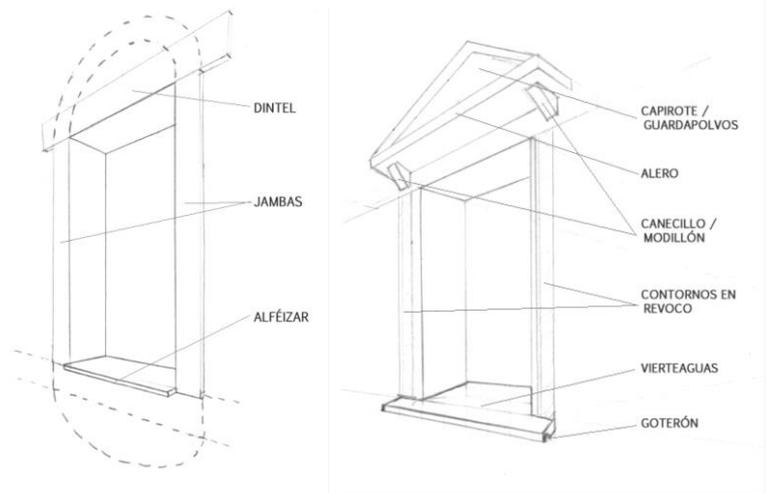


Fig. [19] - Elementos estructurales y de protección de la ventana tipo clásica.

En la actualidad muchos de estos elementos han desaparecido o se han reinterpretado para adecuarlos a las nuevas fachadas o, en muchos casos, para encajar en el formalismo heredado de los grandes arquitectos del siglo pasado. Por ejemplo, hoy en día es habitual ver ventanas con lo que parece el premarco “extruido” hacia el exterior [Fig. 21]. Esta técnica, en muchos casos, pretende proteger al vidrio de la lluvia y el viento y de la incidencia solar directa en los meses más cálidos del año y además, puede actuar de dintel, jamba y alfeizar y de conexión de aislamiento térmico entre la carpintería y la capa aislante del muro.

- o La carpintería y la hoja establecieron una separación física entre el interior y el exterior manteniendo la conexión visual y la iluminación y, gracias a su practicabilidad, también la ventilación. Probablemente sea en este apartado donde la



Fig. [21] - Fachada sur del proyecto de 15 Viviendas Sociales en Degaña, Asturias, España. Arquitectos Nacho Ruiz Allén y Jose Antonio Ruiz Esquiroz. Fuente: Revista temas de arquitectura 13

tecnología nos ha permitido avanzar más, gracias a los nuevos materiales y nuevos sistemas de sellado.

- Por último, los elementos de protección practicables entre los que destacan principalmente la contraventana y los fraileros, las lamas, la persiana, la cortina, el toldo que permiten controlar la iluminación y la privacidad de un espacio interior. Su funcionamiento energético muchas veces está especializado para diferentes climas u épocas del año (Puche 1985). Por ejemplo, la contraventana y la persiana pueden actuar como cámara de aire ayudando al aislamiento térmico interior. Además, hoy en día existen sistemas automáticos que pretenden optimizar el aprovechamiento de los agentes naturales, sobre todo, de la luz solar.

1.4 LAS POSIBILIDADES DE LA CARPINTERÍA

A las carpinterías de madera, muy adecuadas en cuanto a aislamiento térmico, se les unieron las de hierro y aluminio con la revolución industrial por las posibilidades de esbeltez, elegancia y resistencia que ofrecían. Materiales muy recurridos a lo largo del siglo XX que no ofrecían los mínimos de estanqueidad que se exigen hoy en día. (Paricio 2010) Debido a las nuevas normativas y a los nuevos materiales y tecnologías de finales del s XX, aparecen las ligeras carpinterías de PVC, las carpinterías mixtas y se desarrollan nuevas técnicas para las carpinterías de aluminio que evitan la fácil transmitancia del calor. En España, debido a su economía e industrialización el aluminio barrió el mercado, llegándose a fabricar el 70% de nuestras ventanas a finales del siglo pasado en este metal y tan solo utilizando la madera para el 20%. Esta gran diferencia no apareció en todos los países de Europa ya que, en zonas más frías, la carpintería de madera tradicional se resistió a ser sustituida. (Azpilicueta 1995)

Los valores de U que ofrecen unas carpinterías u otras son:

Material del perfil	Transmitancia térmica U (W/m ² K)	Grado de aislamiento
Metálico	5,7	Muy bajo
Metálico con RPT (4mm ≤ d < 12mm)	4	Bajo
Metálico con RPT (d ≥ 12mm)	3,2	Medio
Madera dura (ρ=700kg/m ³ y 60 mm de espesor)	2,2	Alto
Madera blanda (ρ=500kg/m ³ y 60 mm de espesor)	2	Alto
Perfiles de PVC (2 cámaras)	2,2	Alto
Perfiles de PVC (3 cámaras)	1,8	Muy alto

Fig. [22] – Tabla que recoge los tipos de carpintería más utilizadas en nuestro país y su índice de transmitancia térmica de calor U. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de www.certificadosenergeticos.com

Destacando la gran diferencia que existe entre la madera y el PVC con respecto a los metales incluso con los nuevos tratamientos de rotura de puente térmico. Sin embargo, la fácil industrialización del aluminio y por tanto, su economía, lo siguen manteniendo como una de las soluciones más comunes, al menos, en nuestro país.

1.5 LAS POSIBILIDADES DE LA HOJA DE VIDRIO

Existen muchas variables que pueden afectar a la hoja de vidrio y por tanto, a la transmitancia de calor entre el interior y el exterior del edificio. Durante los últimos años se han multiplicado las opciones de cerramiento de los huecos buscando solucionar el problema de transmisión térmica que ha supuesto durante siglos la hoja simple de vidrio.

Estos nuevos sistemas son cerramientos de dobles y triples acristalamientos alternando cámaras estancas de aire entre ellos y utilizando diferentes vidrios según los diferentes propósitos. La resistencia a la transmisión del calor de estas composiciones dependerá de la anchura de las láminas de vidrio, su tipo, la anchura de las cámaras de aire entre las hojas, el aire retenido en ellas... pero en la tabla podemos ver de manera simplificada la comparación de transferencia típica de calor media para distintas soluciones.

Acrilamiento	Transmitancia térmica U (W/m²K)	Grado de aislamiento
Simple	5,6	Muy bajo
Doble	3,0	Bajo
Triple	2,4	Medio
Doble con vidrio de baja emisión	2,4	Medio
Doble con vidrio de baja emisión y cámara de argón	2,2	Medio
Triple con 2 vidrios de baja emisión y cámaras de argón	1,0	Muy alto
Doble con aerogel	0,5-1,0	Muy alto

Fig. [23] – Tabla que recoge varios tipos de acristalamientos y su índice de transmitancia de calor U. Fuente: (Smith 2001)

Además, al tratarse de elementos transparentes que interactúan con el Sol (radiación reflejada, absorbida y transmitida) [Fig. 24], hay que tener en cuenta la ganancia de calor solar. Esta dependerá de la orientación del hueco.

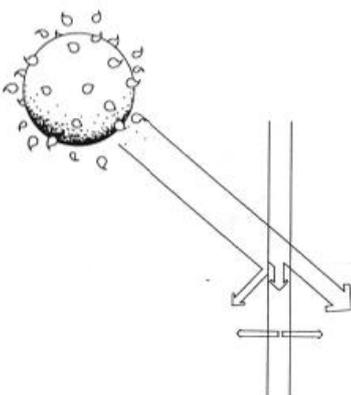


Fig. [24] – Comportamiento del vidrio ante la incidencia directa de la luz solar. Una parte del calor es reflejado al exterior, otra parte es transmitido al interior y el calor restante, es absorbido por el propio vidrio. Posteriormente, este calor absorbido será reirradiado al interior o al exterior.

Acrilamiento	Transmitancia térmica U (W/m²K) con ganancia solar		
	Sur	Este/Oeste	Norte
Simple	2,8-3,7	3,7-4,6	4,6-5,6
Doble	0,7-1,4	1,4-2,2	2,2-3,0
Triple	0,0-0,6	0,6-1,1	1,1-2,4
Doble con vidrio de baja emisión	0,1-0,8	0,8	1,2
Triple con vidrio de baja emisión	0,5-0,3	0,3-0,9	0,9-1,6

Fig. [25] – Tabla que recoge varios tipos de acristalamientos y su índice de transmitancia de calor U teniendo en cuenta la ganancia de calor solar de los vidrios. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos de (Smith 2001)

Comprobando la diferencia en cuanto a estanqueidad que se produce al introducir una variante tan simple como el vidrio doble sobre todo si uno de ellos es bajo emisivo.

Otro factor a tener en cuenta es el sobrecalentamiento de la hoja de vidrio. Para evitar este problema o anticiparse a él es necesario conocer las propiedades de estos elementos y como manipularlos.

- Utilizar vidrios tintados para aumentar la absorción de calor, y reduciendo por tanto la transmisión de calor al interior. Hay que tener en cuenta que el calor absorbido por el vidrio posteriormente se disipará al interior por lo que se deberá colocar en la capa exterior de los acristalamientos. (Factor solar = 0,52 frente al 0,85 de una luna incolora)
- Utilizar vidrios con capas reflectantes. Estos tienen mejores comportamientos para atenuar la ganancia térmica que los tintados y para que su funcionamiento sea óptimo, se suelen aplicar en la hoja interior.
- Combinar las opciones anteriores para conseguir un resultado óptimo en reducir la ganancia por transmisión directa del Sol. (Factor solar = 0,38)
- Otras soluciones, utilizadas en climas cálidos, buscan reducir la ganancia por transmisión directa del sol y por conducción utilizando un doble acristalamiento con un vidrio reflectante exterior y uno interior de baja emisividad. (Smith 2001)

1.6 COMBINACIÓN DE CARPINTERIA Y HOJA

Una vez conocidos los valores de transmisión térmica de la hoja y de la carpintería se procede a calcular la transmitancia térmica de la ventana en su conjunto¹. Esto se realiza a partir del porcentaje de marco:

$$U_T = U_M \times FM + U_H \times (1-FM)$$

Siendo:

- U_M la transmitancia térmica del marco
- U_H la transmitancia térmica de la hoja de vidrio
- FM fracción de la ventana ocupada por el marco

El valor que más influirá en este cálculo de la transmitancia de calor del conjunto con respecto a la transmitancia del acristalamiento será, como vemos, el porcentaje del marco. Este valor dependerá, principalmente, de la superficie total del hueco y del material de la carpintería pues cada uno requiere de unas dimensiones determinadas. En este caso, las carpinterías más favorables en cuanto a estanqueidad serán las metálicas, pues son las que menos proporción de la ventana ocupan (aproximadamente, el FM es igual al 30% en ventanas de 4 m²) mientras que las carpinterías más desfavorables serán las de PVC (aproximadamente, el FM es igual al 30% en ventanas de 2,25 m²). La

¹ Para los casos de estudio del apartado 4 se considerará siempre que el valor aportado por los detalles constructivos de la transmitancia térmica de la ventana corresponde únicamente a la relativa al acristalamiento (poniéndonos en el peor de los casos pues la propagación del calor a través de la carpintería es, por lo general, mayor).

madera se quedará en una posición intermedia (aproximadamente, el FM es igual al 30 % en ventanas de 3 m²)

Con esta información, se concluye que la elección del PVC (material con mejores prestaciones en cuanto a estanqueidad) no es determinante para la correcta estanqueidad de un hueco pues también interfiere la fracción de la superficie que ocupa y en este apartado, el aluminio es el claro vencedor. Habrá que aplicar la fórmula tratada para determinar con exactitud qué carpintería proporciona los valores de U globales óptimos.

1.7 LOCALIZACIÓN DE LA HOJA

Según las diferentes corrientes y culturas, se ha tendido a enrasar la hoja en el exterior o en el interior del muro, buscándose ventajas en cuanto a protección-captación solar, aislamiento térmico, apariencia exterior-interior, estanqueidad... No existe una manera correcta o incorrecta de realizarlo, pero dependiendo del clima en el que nos encontremos y el tipo de muro-fachada en el que estemos trabajando, probablemente sea más lógica una opción que otra [Fig. 26]

- Por un lado, si enrasamos la hoja en el interior, en el caso de que la ventana sea batiente, dispondremos de una apertura de 180°. Además queda más protegida de los agentes naturales por lo que su durabilidad y estanqueidad será mayor. En los meses cálidos, el propio muro actuará como un pequeño bri-solei que será más eficaz cuanto más ancho sea. Y por último, en el caso de disponer contraventana o persiana, se creará una cámara entre ambos cerramientos considerable que podrá actuar como acondicionador del espacio interior. Su mayor desventaja es que habrá que idear un premarco que evite el puente térmico pues, en la mayoría de los casos, el aislamiento queda en la capa exterior del muro.
- Por otro lado, si la hoja queda enrasada en el exterior, su principal característica será la mayor captación solar durante todo el año, siendo ideal para climas más fríos. Pero su exposición a los agentes externos exigirá una carpintería de gran calidad. Otra característica destacable es que se podrá idear un cerramiento con el que quede, el marco y la carpintería, totalmente oculta al exterior.

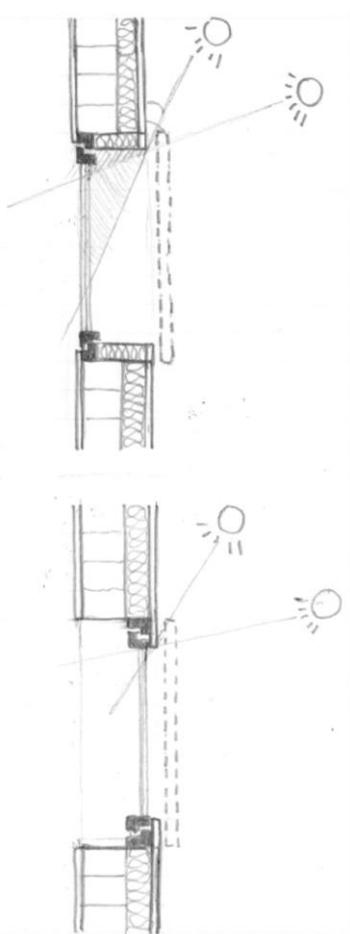


Fig. [26] - Diferentes alineaciones de la hoja de cerramiento. Fuente: Elaboración propia.

1.8 ORIENTACIONES ÓPTIMAS

La mejor orientación de un hueco desde el punto de vista energético, como tantas otras variables tratadas, dependerá del clima en el que nos encontremos. Como primera idea, si se busca la captación energética durante todo el año, sin ninguna duda la orientación óptima será sur y si se busca lo contrario, evitar el Sol, la orientación óptima será norte.

En España, se da una situación como en muchas otras regiones en la que se necesita captación energética durante el invierno y se busca protección del sol en verano. Buscando ese óptimo de localización de

los acristalamientos no se podrá tratar de manera independiente cada época sino que habrá que dar una solución que contemple las temperaturas de todo el año.

Todo ello, significa que la orientación más favorable en esta situación será la sur pues es la única que te posibilita el acondicionamiento en invierno. Para evitar la incidencia solar durante el verano, existen gran cantidad de métodos y elementos de protección que solucionan el problema como ya hemos nombrado en el apartado 3.3. Las peores orientaciones serán este y oeste pues se obtienen altos valores de captación solar en verano y bajísimos en invierno [Fig. 27].

Además hay que tener en cuenta que normalmente, un edificio no solo posee una única orientación. Esto implica que la distribución más eficiente energéticamente será la que dispone el máximo acristalamiento a sur y el mínimo a este, oeste o norte y el menos eficiente el que dispone el máximo acristalamiento a este y oeste. Para cuantificar esta diferencia en cuanto a orientaciones ponemos el ejemplo de Madrid: “mientras que un hueco orientado a este u oeste en el mes de julio puede llegar a captar los 488 W/m^2 , un hueco orientado a sur, ese mismo mes solo capta como máximo 289 W/m^2 , y uno orientado a norte 144 W/m^2 ” mientras que en invierno “son respectivamente 198, 380 y 70 ” (Neila González y Bedoya Frutos 1994). Mostrando claramente las orientaciones optimas nombradas anteriormente.

1.9 LA ILUMINACIÓN NATURAL

Será especialmente importante en edificios que requieren de gran cantidad de iluminación durante muchas horas del día, véase edificios comerciales, de oficinas, diferentes equipamientos... también será de vital importancia analizar el tipo de luz que entra al edificio, pues en muchos casos, se necesitará luz indirecta.

Aparte del aspecto económico y ecológico, interviene el factor psicológico de los usuarios que prefieren la luz natural a la artificial, ya sea por sus mejores características o porque algunos problemas de salud se han identificado con diversas formas de luz artificial.

Valores a tener en cuenta serán sobre todos los relacionados al tamaño de la ventana y la profundidad de la habitación o espacio al que sirven. De forma general la luz penetrara entre 4 y 6 metros en el interior de la habitación (2,5 veces la altura del dintel). En edificios no residenciales, la superficie de ventanas debería ser en torno al 20% para que entrase suficiente luz hasta una distancia de 1,5 veces la altura de la habitación. (Smith 2001)

La cantidad de luz que entra a un espacio será directamente proporcional a la superficie de la ventana. Además, otras estrategias a tener en cuenta serán:

- la utilización de materiales con la máxima reflectancia posible, probablemente, utilizando colores claros.
- disponer ventanas altas dentro de la habitación y a ser posible con un desarrollo en horizontal, pues permite una distribución más homogénea de la luz en todo el interior.

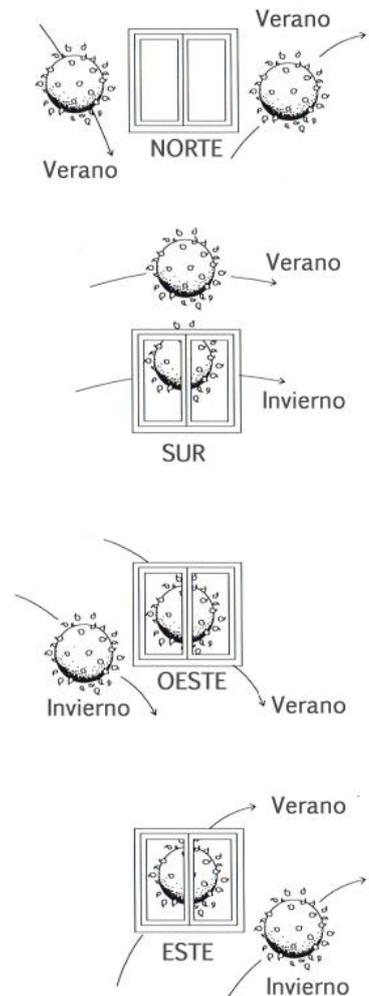


Fig. [27] – Posición aproximada del Sol con respecto a una ventana en los solsticios de invierno y verano. Al ser un dibujo aproximado, se generaliza el esquema para cualquier territorio de la península Ibérica. Fuente: (Neila González y Bedoya Frutos 1994)

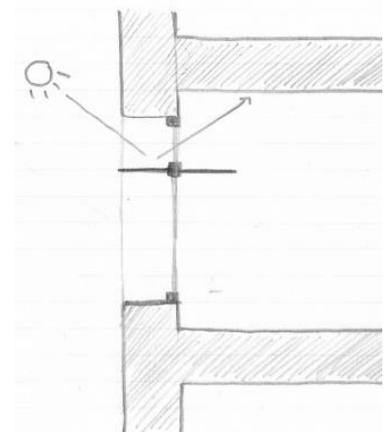


Fig. [28] – Funcionamiento de las repisas superiores en una ventana. Reflejan la luz al techo consiguiendo una luz más homogénea y que llega a zonas más alejadas del hueco. Fuente: Elaboración propia.

- la disposición de repisas en la ventana que permita iluminar las partes más profundas de las habitaciones [Fig. 25].
- Si se quiere disponer de luz indirecta y estamos recibiendo la incidencia directa del Sol encontrar alternativas a la persiana o la contraventana que no permite su aprovechamiento. Estas alternativas podrán ser por ejemplo las lamas abatibles o las cortinas venecianas.

2 DB-HE. CONSIDERACIONES RELATIVAS AL HUECO

En la rehabilitación de un edificio histórico existen varias preguntas que deberían contestarse antes de intervenir en él. ¿Qué tiene prioridad? ¿La conservación del patrimonio histórico o el adecuamiento exterior e interior del edificio a los materiales, tecnologías y necesidades actuales? El DB-HE marca unas restricciones claras para edificios de nueva planta, pero cuando se refiere a la rehabilitación existen gran cantidad de posibilidades o interpretaciones.

El artículo 15 de Exigencias básicas de ahorro de energía (HE) expone que, este ahorro, “*consiste en conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable*”. Pero, cuando se refiere a rehabilitación, este documento básico añade 2 puntos que limitan las restricciones de la normativa:

- El no empeoramiento del edificio preexistente
- Cierta flexibilidad en “edificios con valor histórico, o cuando las soluciones propuestas no supongan una mejora efectiva, no sean técnica o económicamente viables o supongan cambios sustanciales en elementos de la envolvente en los que no se pretendía intervenir.”

Aunque apunta, que en caso de que el edificio presente daños relacionados con el requisito básico de ahorro de energía, se deberán tomar medidas para resolverlo.

Para escapar de posibles interpretaciones que facilita este apartado, consideraremos en el trabajo que, las exigencias para edificios rehabilitados, serán las mismas que para los edificios de nueva planta, realizando nuestra propia interpretación del DB-HE.

Para los edificios de nueva planta, existen unos valores orientativos pero iremos a los que el CTE nos aporta de manera más precisa. Antes de empezar con el análisis, deberemos saber los datos del emplazamiento del edificio [Fig. 29 y 30] y la orientación de la fachada [Fig. 31] que nos permitirán conocer las especificaciones y normativas para cada hueco del edificio. Además, complementando las exigencias del DB-HE, el emplazamiento nos facilitará el clima de trabajo para conocer las necesidades térmicas del edificio y, la orientación, nos definirá las posibilidades de captación energética solar² del hueco.

² La captación energética solar hace referencia a los sistemas pasivos de acondicionamiento de un edificio a partir del Sol. Estos se dividen entre los sistemas de captación directa e indirecta. Los primeros son aquellos en los que los rayos inciden directamente sobre la estancia o local a calentar a partir de los huecos mientras que los sistemas de captación indirecta son aquellos en que se usan distintos elementos constructivos para almacenar calor durante las horas de Sol incidente y distribuirlo de manera prolongada. En este segundo caso, es importante el concepto de inercia térmica, definida como la capacidad de un material de almacenar calor. Esta va directamente relacionada con la masa del elemento.

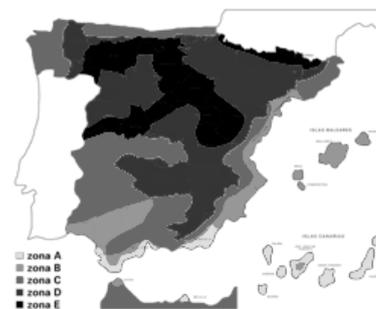


Fig. [29] – Zonas climáticas de invierno A, B, C, D, E. De gris claro a más oscuro correspondientemente. Fuente: (DB-HE 2013)



Fig. [30] – Zonas climáticas de verano 1, 2, 3, 4. De gris claro a más oscuro correspondientemente. Fuente: (DB-HE 2013)

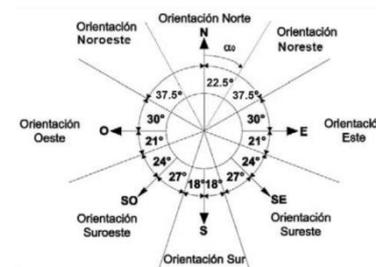


Fig. [31] – Esquema para determinar la orientación exacta de las fachadas de un edificio. Fuente: (DB-HE 2013)

Con esta información, por ejemplo, en el caso de que nos encontremos en Zaragoza, estaremos en una zona climática invernal D y zona climática de verano 3. Acudimos al CTE y comprobamos las exigencias térmicas para el D3 y tenemos:

D.2.15 ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,28$

Fig. [32] – Exigencias climáticas para el cerramiento de un edificio de viviendas en la zona climática D3. Fuente: (DB-HE 2013)

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Los valores de U serán aportados por el fabricante. En el caso de que nos dispongamos de esa información, se procederá a su cálculo a partir de los detalles constructivos y de la información recogida en los apartados anteriores.

Otro concepto a controlar, con especial importancia en las zonas climáticas más severas en verano, será el sobrecalentamiento, representado en el CTE a partir del factor solar modificado, que se define como la fracción entre la radiación total incidente en un hueco que no es bloqueada por el efecto de obstáculos de fachada y las partes opacas. Este se calcula mediante la ecuación:

$$F_{Hlim} = F_S \times [(1 - FM) \times g_{\perp} + FM \times 0,04 \times U_m \times a] \quad \text{Siendo:}$$

- F_S el factor de sombra que depende de la posición de la ventana en el hueco, su orientación, obstáculos... en caso de no poder cuantificarse se considera igual a 1.
- FM la fracción de hueco ocupada por el marco.
- g_{\perp} el factor solar del vidrio (aportado por el fabricante)
- U_m la transmitancia térmica del marco
- a la absorptividad del marco según su color 0,2 (blanco), 0,65 (gris), 0,75 (marrón), 0,96 (negro)...

Con estos datos y sabiendo la orientación de la fachada ya podemos comprobar si nuestra ventana cumple los requisitos. Consideraremos espacios con baja carga interna *los edificios de viviendas, habitaciones de hoteles y hospitales, salas de estar, en los cuales se disipa poco calor* mientras que aquellos con alta carga interna serán *el resto de edificios en los cuales se genera mucho calor*.

Comprobados estos valores, habrá que verificar que la permeabilidad al aire de los huecos tampoco supere los valores orientativos establecidos por el DB-HE. Estos serán para las zonas A y B menor

igual a 50 m³/hm² y para las zonas C, D y E menor igual a 27 m³/hm² considerando en ambos casos una sobrepresión de 100 Pa.

2.1 CERTIFICACIONES ENERGÉTICAS

Sería interesante para la investigación poder “medir” el consumo energético de los edificios previo y posterior a una intervención centrada en los huecos según lo establecido en el Real Decreto 235/2013. De esta manera se podría cuantificar la mejora energética debida a la rehabilitación y permitiría reconocerla a nivel usuario a partir de las etiquetas que se otorgan a los edificios en base a su consumo.

El problema radica en la gran cantidad de variables a tener en cuenta que no se van a plantear pues, el presente estudio, va únicamente dirigido a intervenciones puntuales de la envolvente. Por ello, se planteará desde un punto de vista teórico: no limitarse a la normativa establecida en el Código Técnico.

La nueva normativa europea actualizada en la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo en el campo de la edificación y la eficiencia energética junto con este nuevo sistema de “etiquetas energéticas” han impulsado que muchos arquitectos planteen el bajo consumo como una de las principales características de su arquitectura. Aspectos que, cada vez más, son de interés de los clientes. Esta tendencia ha derivado en que, en muchos edificios, la normativa impuesta por el DB-HE quede como un mero trámite.

Con esto en mente, en la crítica de los casos de estudio se buscará obtener unos resultados lo más óptimos posibles no limitándonos en ningún momento a lo establecido por la normativa.

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA 

DATOS DEL EDIFICIO

Nombre agente constructor/constructor: _____ Tipo de edificio: _____
 Dirección: _____
 Municipio: _____
 Referencia catastral: _____ C/I: _____
 C/Address: _____

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kWh/m ² ·año	Emisiones kgCO ₂ /m ² ·año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO

ENERGOL

Directiva 2010/31/UE

ESPAÑA

Fig. [33] – Calificación energética que tiene en cuenta el consumo anual por unidad de superficie en calefacción y refrigeración. Fuente: www.santasur.es

3 LA REHABILITACIÓN Y EL HUECO

3.1 ¿CÓMO ACTUAR ANTE EDIFICIOS CON VALOR HISTÓRICO?

La pregunta tratada con anterioridad: ¿Qué tiene prioridad? ¿La conservación del patrimonio histórico o el adecuamiento exterior e interior del edificio a los materiales, tecnologías y necesidades actuales? Deberá ser también contestada desde el punto de vista teórico. Al ser un tema subjetivo, existen gran cantidad de opiniones, muchas de ellas opuestas, sobre la forma correcta de llevar a cabo una rehabilitación. Debido a que nos interesa una metodología referenciada, tomaremos las ideas de varios arquitectos de diferentes países y épocas para contrastar sus máximas y dar una opinión personal que trate los pensamientos expuestos.

En primer lugar, estudiaremos a Leopoldo Torres Balbás. El teórico-arquitecto español defendía que una intervención en una obra antigua supone, automáticamente, la pérdida de su valor histórico, pero la arquitectura, a diferencia del resto de las artes, está sujeta a su función. Por este motivo reafirma que se deberá actuar completando y reformando el edificio mediante un lenguaje sincero que no prive de su concepción original al monumento. Estas ideas las tuvo que reflejar en la rehabilitación que llevo a cabo en la Alhambra de Granada, realizando una intervención que reafirma la existencia del edificio antiguo. (Balbás 1918)

Además, añade que un monumento antiguo nace, vive y se transforma reflejando diferentes rasgos de las corrientes por las que pasa. ¿Por qué no podría nuestra intervención aportar un valor añadido al edificio histórico?

Otro arquitecto que, sin duda, representa uno de los principales referentes en la rehabilitación italiana y europea es Carlo Scarpa. Considerado prácticamente artesano por su dedicación al detalle en todas sus obras, realizó entre 1956 y 1964 una de sus intervenciones maestras: la reforma del edificio Castelvecchio en Verona. Este proyecto reafirmó su gusto por el detalle (pues diseñó cada elemento del edificio) y le permitió desarrollar una estrategia de especial interés pues no se limitó a la simple yuxtaposición de lo viejo y lo nuevo, sino que realizó una interpretación personal de la historia social y política de Italia, convirtiendo, el propio castillo, en una obra de arte del museo. (Coombs 1992) [Fig. 34 y 35]

Los arquitectos Herzog y de Meuron también han destacado por su labor en la rehabilitación, sobre todo, con el proyecto de Park Avenue Armory de Nueva York llevado a cabo a partir del año 2006. En él, se reúnen los pensamientos de Scarpa sobre el cuidado por el detalle y, además, se aúnan las ideas contrarias de Ruskin y Le Duc. El primero de ellos, con un pensamiento similar al expuesto por Balbás, defendía que un edificio histórico no podía ser intervenido por la importancia de “la mancha del tiempo”. Viollet le Duc, al



Fig. [34] - Imagen de la rehabilitación realizada por Carlo Scarpa del edificio Castelvecchio de Verona. En la fotografía, se aprecia uno de los puntos más característicos de la intervención: el lugar del emplazamiento de la estatua de Cangrande. El uso de los materiales y las formas recurridas anticipan la interpretación histórica llevada a cabo por el arquitecto. Fuente: www.cube.designresearch.com



Fig. [35] - Imagen de la rehabilitación realizada por Carlo Scarpa del edificio Castelvecchio de Verona. En la fotografía, se aprecia una de las entradas al edificio. Cuidadosa interpretación y cuidadoso detalle desarrollado por el famoso arquitecto. Fuente: www.cube.designresearch.com

contrario, apostaba por la reparación y la reconstrucción a partir de la imitación del antiguo edificio, copiando las piezas necesarias o realizando expresivas reinterpretaciones (Lira 2014). La solución propuesta, trata de reparar y dotar de funcionalidad a la vieja construcción pero mediante un lenguaje sutil que haga evidente su antigüedad, trabajando en detalle cada espacio de manera específica y resaltando las imperfecciones y otros signos de la edad para acentuar la belleza que genera el paso del tiempo en un edificio de este carácter (Herzog y deMeuron 2013) [Fig. 36]

Este constante cuidado por el detalle ornamental, aunque se intente tratar con sinceridad y sutileza como realizan los autores estudiados, contrasta con la idea expuesta por muchos herederos del movimiento Moderno y los defensores de la arquitectura más funcional. Uno de ellos, fue Adolf Loos, que afirmaba que el ornamento llevaba a la arquitectura a datarse y pertenecer a un periodo y estilo determinado frente a la arquitectura atemporal que defendía. Este concepto de atemporalidad también es una máxima constante en toda la obra de Chipperfield, que busca la esencialización de sus intervenciones evitando cualquier elemento prescindible, reivindicando la arquitectura sin tiempo (Elsdon 2012). Un claro ejemplo de esta arquitectura sin tiempo la desarrollará en el Neues Museum de Berlín.

Un aspecto de especial importancia en toda rehabilitación será el detalle constructivo. Tanto en la obra de Peter Zumthor como en la obra del arquitecto español José Ignacio Linazasoro tomara especial importancia. Este último, afirma que la construcción debe hacerse evidente, en su opinión, una rehabilitación se llevará a cabo mediante materiales y un detalle constructivo actualizado pero sincero. Al igual que Chipperfield, apostara por la esencialización de la obra y la reducción de la ornamentación para dar constancia en el momento y lugar donde se interviene pero de manera que no afecte al conjunto y percepción global del edificio (Linazasoro 2014).

Por último, resulta interesante el concepto de evolución de la arquitectura que defiende Ignacio Paricio. Esta idea se puede interpretar como la posibilidad de anticiparse a la propia rehabilitación diseñando espacios y elementos con la facultad de ser intervenidos fácilmente en el futuro. Esta inquietud, queda reflejada en su texto sobre la ventana perfectible³ (Paricio 1995).

Estas ideas recogidas encajan perfectamente en la búsqueda de soluciones para el problema al que se va a tener que enfrentar la arquitectura en el siglo XXI. Gran cantidad de obras van a tener que ser rehabilitadas desde el punto de vista energético y puede, que la manera correcta de hacerlo, sea a partir de intervenciones neutras que no roben la esencia del edificio original. Además, si pensamos en rehabilitaciones que quieren primar la eficiencia y la economía,



Fig. [36] – Espacio del interior del edificio Park Avenue Armory restaurado. En la imagen se aprecia el trabajo en detalle de los arquitectos. Fuente: www.veneto.eu



Fig. [37] – Espacio del interior del edificio Neues Museum de Berlín rehabilitado por David Chipperfield. Fuente: (Cortés 2010)



Fig. [38] – Fachada del Museo Columba diseñado por Peter Zumthor. El encuentro entre la parte vieja y la nueva se produce a partir de un cuidadoso trato del material, del detalle constructivo. Fuente: www.arcspace.com

³ En el apartado de la ventana perfectible, Ignacio Aparicio expone que los huecos requieren una gran inversión económica en la construcción de un edificio y que probablemente experimenten una rápida evolución en los próximos años. Con esto en mente, sugiere que una manera correcta de plantearlos sería dar soluciones abiertas que posibiliten la mejora posterior.

probablemente tomemos una postura semejante a la expuesta por los minimalistas, desarrollando una arquitectura de carácter atemporal que limite al máximo la decoración y cualquier elemento prescindible.

Pese a ello y como afirman gran parte de los arquitectos estudiados, será de especial importancia el tratamiento del detalle constructivo, tanto desde el punto de vista técnico y energético como desde el punto de vista del respeto del patrimonio histórico. Pues su correcto planteamiento puede determinar el triunfo o no de la propuesta planteada.

Además, la idea expuesta por Ignacio Paricio resulta de gran interés en el mundo de la rehabilitación: diseñar con miras al futuro, posibilitando el cambio o actualización de diversas partes del edificio. En mi opinión, esta metodología puede aparecer como respuesta a la teórica obsolescencia programada o vida limitada de muchos materiales y artículos en el mercado. Un cambio radical que apuesta por la vida indefinida de un edificio gracias a facilitar su actualización de manera sencilla. Actualización que será necesaria en el futuro para adaptarse a los requerimientos y necesidades de cada momento.

3.2 ESTRATEGIAS Y PASOS A SEGUIR EN LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA

La primera normativa española que tuvo en cuenta el control energético de los edificios se redactó en 1979. Por ello, gran parte del parque inmobiliario español se encuentra en situación de elevado gasto en energía operacional, es decir, energía consumida durante la vida del edificio una vez construido. (Luxán, Muñoz y López 2014). Este problema está siendo enfrentado mediante rehabilitaciones de envolvente que aprovechan gran parte de la energía embebida del propio edificio.

Además, hay que tener en cuenta que “las actuaciones con criterios de sostenibilidad no tienen por qué ser el resultado de la aplicación de técnicas especiales y costosas, sino de una lógica en la intervención encaminada hacia la adecuación y aprovechamiento de las condiciones ambientales con los elementos necesarios de las edificaciones” y es aquí, donde la arquitectura tiene mucho que aportar. (Luxán, y otros 2009).

Una constante en este tipo de rehabilitaciones es la mejora del aislamiento térmico. Al estar este estudio centrado en la mejora del hueco, buscaremos aquellas técnicas que permitan la mejora de la estanqueidad térmica de estos elementos.

A diferencia del resto de puntos a tratar, podemos decir que la mejora del aislamiento térmico de un hueco se puede generalizar para todos los casos de estudio. Pese a esta generalización, en base a lo descrito en el CTE, según la región en que nos encontremos, tendremos unos mínimos más o menos estrictos.

Esta mejora se puede conseguir a través de la sustitución de las carpinterías utilizando marcos con rotura de puente térmico, sobre todo, para zonas de severidad climática de invierno (C o superior). Además, se pueden sustituir los vidrios simples por dobles aislantes, vidrios de baja emisividad o en caso de querer aprovechar la hoja existente, se puede añadir una ventana simple para generar una ventana doble. Opción que presenta un muy buen comportamiento térmico y acústico. (Blázquez de Pineda, y otros 2016)

Este aislamiento térmico de la propia carpintería se compaginará con la conexión con el aislamiento de la fachada a través de la jamba, el dintel y el alfeizar. En caso de muros que no dispongan de ningún tipo de aislamiento térmico en los que no se tenga intención de añadirse sería recomendable doblar este premarco en todo el grosor del muro para evitar grandes filtraciones. Esto puede pasar por ejemplo con los grandes muros de piedra con gran inercia térmica. [Fig. 39]

Otro factor que también aparece constantemente en gran parte de las actuaciones de rehabilitación con criterios de sostenibilidad es la temperatura de confort. Esta temperatura de confort o confort higrotérmico hace referencia a los valores de temperatura y humedad en los que el cuerpo humano requiere menos energía para adaptarse al medio. En otras palabras, la temperatura en la que nos encontramos más cómodos y por tanto, aquella que se perseguirá conseguir en el interior de los edificios tanto por la noche como por el día y tanto en invierno como en verano.

Estos valores de temperatura de confort fueron descritos y definidos por Victor Olgyay y Baruch Givoni. Uno de los objetivos de toda rehabilitación energética será llegar a estos valores de la zona de confort utilizando la menor cantidad de sistemas mecánicos de calefacción y/o refrigeración.

Para simplificar el trabajo de investigación posterior, realizaremos todo nuestro estudio a partir de la carta bioclimática de Givoni [Fig. 40].

Esta gráfica junto con la superposición de las condiciones climáticas de cada localidad permiten definir con bastante exactitud las medidas a tener en cuenta para cada temporada del año. Al tratarse de un trabajo centrado en la rehabilitación del hueco, nos interesarán, sobre todo, las zonas que atraviesen la sección 4 y 8, pues son aquellas que dependen totalmente del planteamiento de los elementos que interactúan con el Sol.

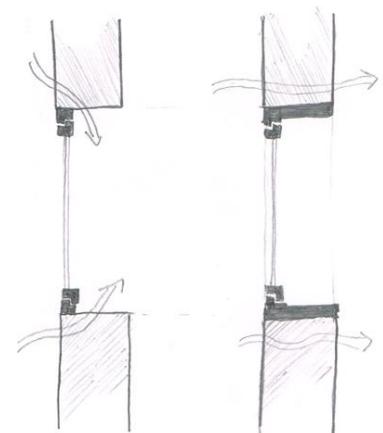
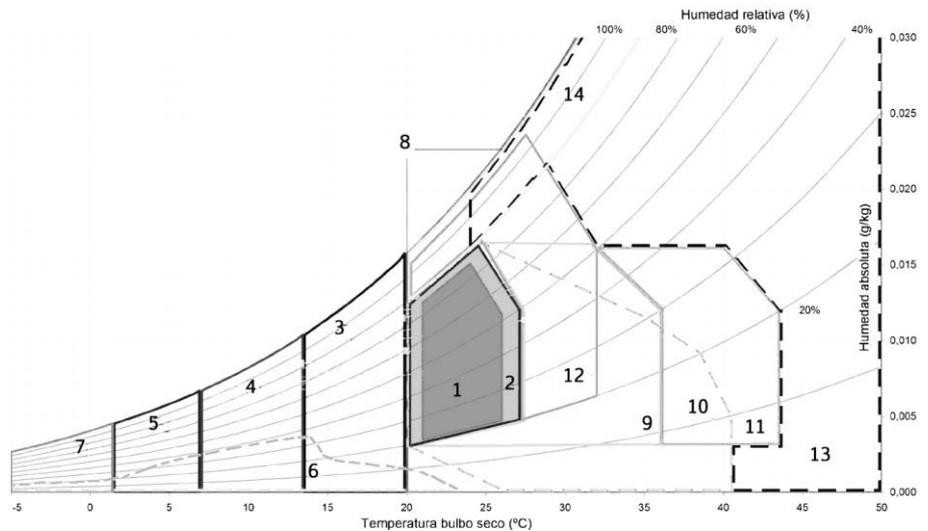


Fig. [39] - Solución de doblar el premarco en todo el grosor del muro para evitar la fácil transmisión del calor. Fuente: Elaboración propia

Fig. [40] – Carta Bioclimática de Givoni.
Fuente: mdgaeetsaun.com

Legenda:

1. Zona de confort
2. Zona de confort permisible
3. Calefacción por ganancias internas
4. Calefacción solar pasiva
5. Calefacción solar activa
6. Humidificación
7. Calefacción convencional
8. Protección solar
9. Refrigeración por alta masa térmica
10. Enfriamiento por evaporación
11. Refrigeración por alta masa térmica con refrigeración nocturna
12. Refrigeración por ventilación natural y mecánica
13. Aire acondicionado
14. Deshumidificación convencional



Una vez especificadas estas necesidades, se procede a estudiar el movimiento solar en la zona geográfica del proyecto rehabilitado. Esto nos permitirá analizar si es posible plantear sistemas de acondicionamiento pasivo a través del cerramiento y si se podría prescindir del acondicionamiento mecánico en ciertas temporadas del año.

La posición solar viene definida por dos coordenadas:

- El acimut, que hace referencia al ángulo horizontal de la proyección del Sol en planta.
- La altura solar, que hace referencia al ángulo que forma el rayo del Sol con respecto al plano del horizonte.

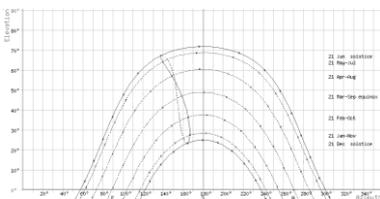


Fig. [41] – Carta solar cilíndrica (caso de Zaragoza). Esta representación nos permite apreciar la altura que toma el Sol para cada temporada del año.
Fuente: sunearthtools

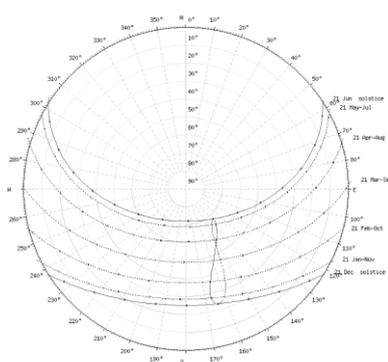


Fig. [42] – Carta solar esférica (caso de Zaragoza). Esta representación nos permite apreciar el recorrido en planta del Sol para cada temporada del año.
Fuente: sunearthtools

Estos valores quedan reflejados en las cartas solares [Fig. 41 y 42]

Una vez estudiado el recorrido del Sol en la zona geográfica del proyecto y tras haber comprobado que no existe ningún obstáculo que arroje sombras no deseables se expondrán las conclusiones: que meses es posible y se requiere de ganancia energética y que meses es necesario protegerse de la incidencia solar directa según los valores obtenidos en la tabla de Givoni.

Posteriormente y ayudándonos de estos datos para determinar el factor de sombra (Fs) se calculará si el hueco cumple el factor solar modificado límite.

Finalmente, en caso de ser posible y de tener la información necesaria, se comprobará si las carpinterías utilizadas cumplen la tercera y última normativa del DB-HE con respecto a los huecos: los valores de permeabilidad al aire máximos

Una vez comprobados todos estos factores, se expondrá un comenario crítico sobre si se podrían haber tomado otras medidas que se hubieran ajustado más a las necesidades térmicas estudiadas y si las medidas tomadas encajan en cuanto a la conservación del patrimonio histórico que se pretendía con la intervención.

4 CASOS DE ESTUDIO

Como ya se ha comentado, el objetivo de este trabajo, a parte de la investigación más teórica sobre la ventana y su rehabilitación es la crítica de obras realizadas en las que la intervención en el hueco haya tomado un papel protagonista. En esta crítica, serán tenidos en cuenta aspectos relacionados con la eficiencia energética, así como la adecuación de la intervención a la conservación arquitectónica. Por este motivo, se tomarán edificios con valor patrimonial u edificios cuya intervención haya puesto en valor la construcción preexistente.

Se elegirán cuatro edificios diferentes en cuanto a su actuación. Además, para tener un abanico más amplio de condiciones climatológicas no nos restringiremos a un territorio. Esto supondrá enfrentarse a distintas intervenciones bajo unas condiciones ambientales totalmente diferentes.

4.1 ESCUELA PRIMARIA EN DÜSSELDORF, ALEMANIA. KLAUS LEGNER Y MICHAEL VAN OOYEN

La intervención se ocupa de una escuela alemana de los años sesenta [Fig. 43] obra de Paul Schneider-Esteben ejemplo de la arquitectura y la situación económica de la posguerra. El edificio fue declarado protegido en 1990 y se convocó un concurso público para su rehabilitación. Los ganadores, propusieron reemplazar la antigua fachada de forjados y pilares vistos por una fachada de muro cortina ventilada que imitase el despiece del edificio original [Fig. 44]

Al tratarse de un edificio tan influido por el movimiento moderno y el “purismo” del mismo Mies van der Rohe, los huecos coinciden con gran parte de la totalidad del cerramiento. La crítica de la intervención se centrará en las dos fachadas de uno de los cuerpos del edificio (pues ambos son simétricos). Para empezar, necesitaremos conocer la orientación exacta del edificio [Fig. 46], teniendo que la fachada principal queda orientada al noreste y la fachada que da al patio central, a suroeste. También será de especial importancia que los huecos de ambas fachadas no se trataron de la misma forma:

- Los huecos de la fachada principal se mantuvieron como en el proyecto original dejando la parte inferior opaca. [Fig. 44]
- Los huecos de la fachada trasera, ideados en el proyecto original igual que en la frontal, se reinterpretan y se acristalan de suelo a techo, sustituyendo la parte opaca por un cristal de seguridad. [Fig. 45]

4.1.1 CUMPLIMIENTO DE LA TRANSMITANCIA MÁXIMA

	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	
Med. $T_{a_{max}}$	4.5	5.6	10.1	14.4	19	22.1	23.6	23.3	20.2	14.5	9	5.4	14.3
Med. $T_{a_{min}}$	-0.7	-0.3	2.3	4.7	8.3	11.4	13.4	13	10.5	6.6	3.6	0.7	6.1
Med. T_a	1.9	2.6	6.2	9.5	13.6	16.7	18.5	18.1	15.3	10.5	6.3	3	10.2
Oscilación	5.2	5.9	7.8	9.7	10.7	10.7	10.2	10.3	9.7	7.9	5.4	4.7	8.2
Días despejados	3	3.1	4.4	4.9	5.5	4.9	5.6	6.3	5.8	6.5	2.8	2.6	
Días parcialm. nublados	9.4	11.1	13.4	15.7	16	16.7	18.4	18	14.6	13.5	11.1	8.8	
Días nublados	18.6	14.1	13.2	9.4	9.5	8.4	6.9	6.7	9.6	11	16.1	19.5	
$H_{r_{med}}$	81	78	77	72	69	69	73	71	78	80	83	82	76

Fig [47] - Tabla de los datos climáticos de Dusseldorf. Fuentes: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en www.meteoblue.com, es.climate-data.org y <http://www.climatedata.eu>

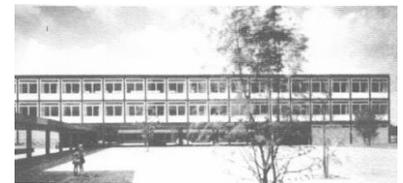


Fig. [43] - Estado de la escuela tras su construcción en 1961. Fuente: (Revista tectónica 2000)



Fig. [44] - Estado de la escuela tras la rehabilitación en 2006. En la imagen podemos ver el tratamiento que se dio a los huecos de la fachada principal. Fuente: (Revista tectónica 2000)



Fig. [45] - Estado de la escuela tras la rehabilitación en 2006. En la imagen podemos ver el tratamiento que se dio a los huecos de la fachada del patio. Fuente: (Revista tectónica 2000)

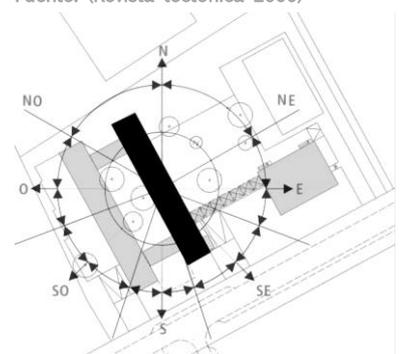


Fig. [46] - Planta del proyecto. En negro está representado el cuerpo de estudio. Sobre la planta, se ha superpuesto el esquema de orientación aportado por el DB-HE. Esto nos permite verificar la orientación de las fachadas: noreste para la fachada principal (a efectos prácticos se considera orientación norte) y orientación suroeste para la fachada del patio. Fuente: Elaboración propia

Al no encontrarse el edificio de estudio en España, habrá que buscar una localidad española que tenga unas temperaturas durante el invierno y el verano semejantes a las de Düsseldorf.

Estos valores se asemejan a los de la provincia española de Soria, por lo que consideraremos que se encuentra en una zona climática E1, la más estricta en cuanto al invierno que tenemos en la península ibérica. Al considerar esta zona climática, acudimos al DB-HE para comprobar los valores máximos de transmisión de calor y del factor solar modificado que se pueden plantear [Fig. 48].

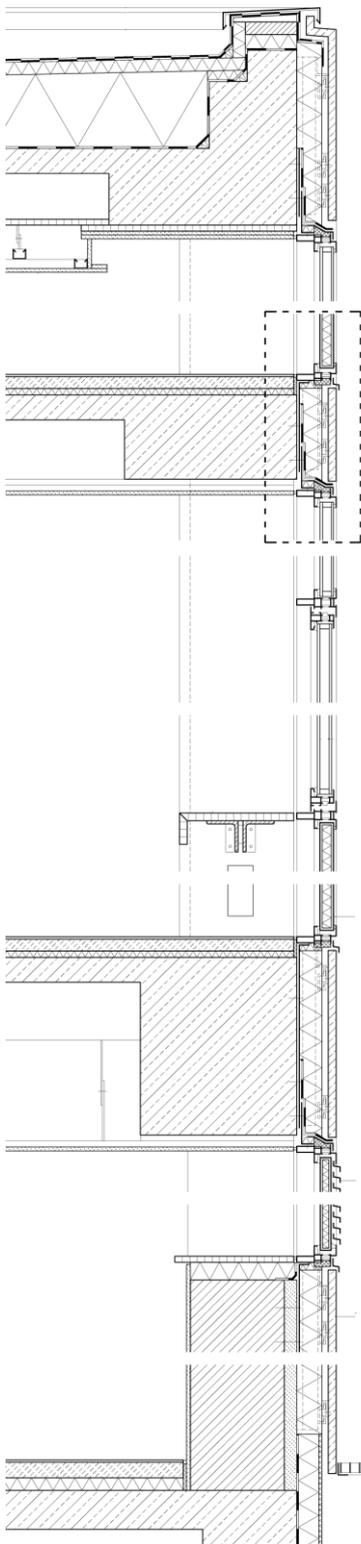


Fig. [49] - Sección del proyecto por uno de los extremos del cuerpo de estudio en los que la planta baja no queda libre. Señalado el detalle de la Fig. [41]. Fuente (DETAIL 2010)

D.2.16 ZONA CLIMÁTICA E1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,57 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,48 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,35 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,36$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos F_{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6	3,0	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2	2,7	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0	2,4	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Fig. [48] - Exigencias climáticas de cerramiento para la zona climática E1. Fuente: (DB-HE 2013)

Con esta tabla y sabiendo que en la fachada noreste los huecos ocupan un 52 % de la superficie total, los huecos deberán tener una transmitancia máxima de 1,9 W/m²K. Por otro lado, los huecos en la fachada suroeste ocupan un 68%. En el DBHE no están considerados los edificios con más de un 60 % de acristalamiento por lo que tendremos que imponer un valor teórico, que en este caso, será de 3,0 W/m²K que es el valor que corresponde a un 60 % de huecos en fachada.

Analicemos los detalles constructivos del proyecto [Fig 49 y 50]:

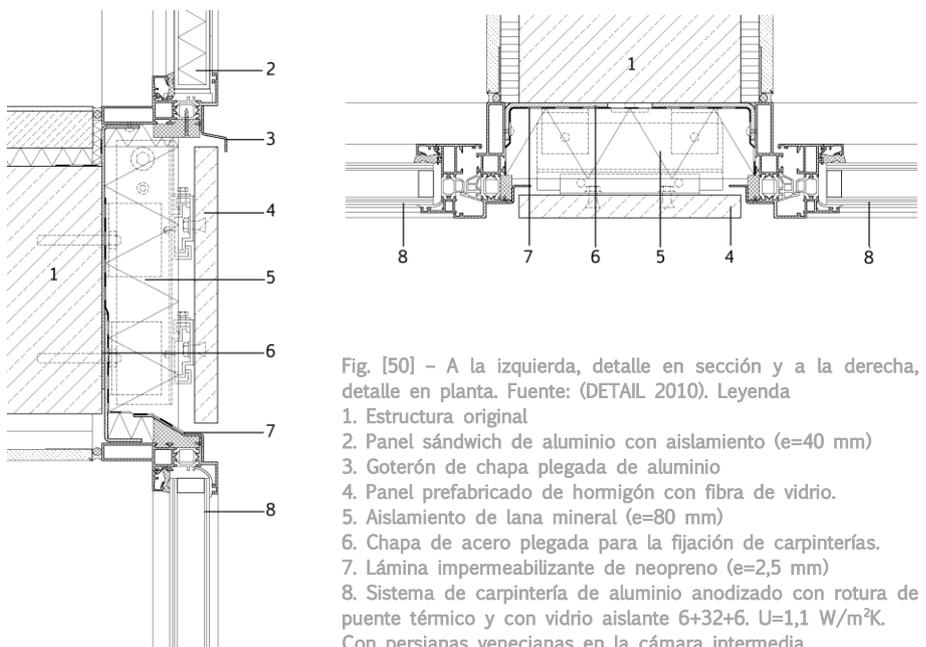


Fig. [50] - A la izquierda, detalle en sección y a la derecha, detalle en planta. Fuente: (DETAIL 2010). Leyenda
 1. Estructura original
 2. Panel sándwich de aluminio con aislamiento (e=40 mm)
 3. Goterón de chapa plegada de aluminio
 4. Panel prefabricado de hormigón con fibra de vidrio.
 5. Aislamiento de lana mineral (e=80 mm)
 6. Chapa de acero plegada para la fijación de carpinterías.
 7. Lámina impermeabilizante de neopreno (e=2,5 mm)
 8. Sistema de carpintería de aluminio anodizado con rotura de puente térmico y con vidrio aislante 6+32+6. U=1,1 W/m²K. Con persianas venecianas en la cámara intermedia.

Esta sencilla y eficaz solución de despegar la fachada de la estructura permite solucionar todos los puentes térmicos del proyecto original sin recurrir a complicadas maniobras. Esto, junto al uso de los cerramientos de gran calidad como se apunta en la leyenda permitió llegar a unos niveles de estanqueidad admirables para tratarse de una rehabilitación de un edificio histórico.

Volviendo al cumplimiento o no de la normativa española, vemos que el acristalamiento propuesto tiene una U igual a 1,1 W/m²K. Conociendo que una carpintería de aluminio con rotura de puente térmico tiene una U, en el peor de los casos (d=4 mm), igual a 4 W/m²k. Calculamos la U total de la ventana:

$$U_T = U_M \times FM + U_H \times (1-FM)$$

Sabiendo que el factor de marco es el 25 % de la ocupación total de la ventana tendremos una U final de:

$$U_T = 4 \times 0.25 + 1.1 \times (1-0.25)$$

$$U_T = 1,825 < 1,9 \text{ W/m}^2\text{k. CUMPLE}$$

Por lo que las ventanas orientadas a noreste cumplirán incluso poniéndonos en el peor de los casos (carpintería con el mínimo de rotura de puente térmico).

Habiendo cumplido la fachada noreste, la más estricta en cuanto a transmitancia que tenemos, automáticamente la fachada suroeste con una U máxima de 3 W/m²k. También cumple:

$$U_T = 1,825 < 3 \text{ W/m}^2\text{k. CUMPLE}$$

4.1.2 APROVECHAMIENTO DE LA INCIDENCIA SOLAR DIRECTA Y CUMPLIMIENTO DEL FACTOR SOLAR MODIFICADO MÁXIMO

Antes de comenzar con el estudio del soleamiento, como hemos explicado en el punto 4.3, estudiaremos las necesidades térmicas de nuestro edificio a partir de la carta bioclimática de Givoni superponiendo los datos climáticos vistos en el apartado anterior⁴ [Fig. 51]

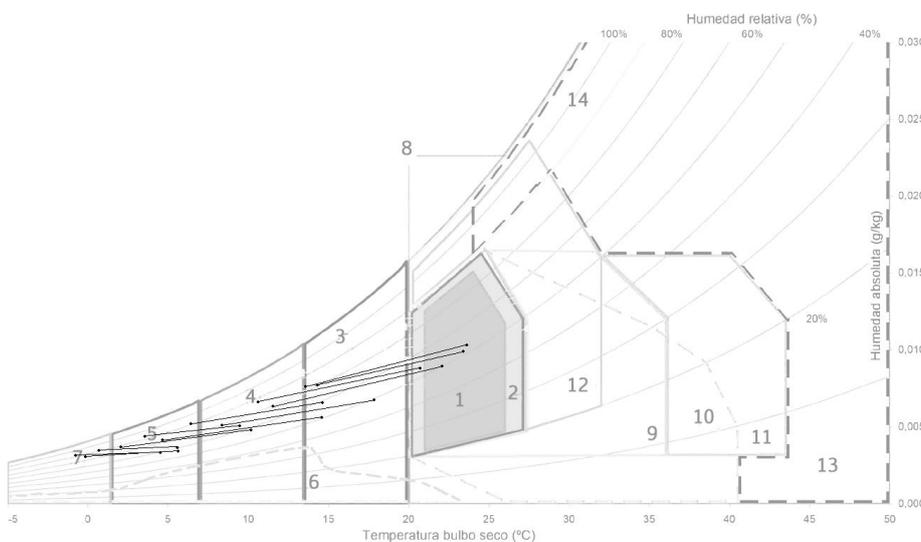


Fig. [51] – Carta bioclimática de Givoni con los datos climáticos de Düsseldorf. Fuente: Elaboración propia.

⁴ Al no disponer de los valores mínimos y máximo de humedad relativa se considera para cada mes una variación de ±10 de la humedad relativa media. Se utilizará esta estrategia para todos los casos de estudio planteados.

De esta gráfica concluimos que:

- Hay que aprovechar el soleamiento prácticamente durante todo el año a excepción de los meses junio, julio y agosto al medio día. Al tratarse de una escuela y teniendo en cuenta que el sistema de vacaciones alemán suele abarcar el mes de julio y mitad de agosto, concluimos con que necesitaremos de la captación solar prácticamente durante todo el año.
- Recurriremos a la ventilación natural si la carga interna hace sobrepasar la temperatura de confort para cualquier época del año.
- Durante los meses de abril a octubre incluidos, se podría alcanzar el confort térmico sin apenas recurrir a la calefacción mecánica a partir del calor interno y de la ganancia solar.
- Para los meses de diciembre, enero y febrero será necesario recurrir a la calefacción convencional, sobre todo, a primera hora de la mañana.

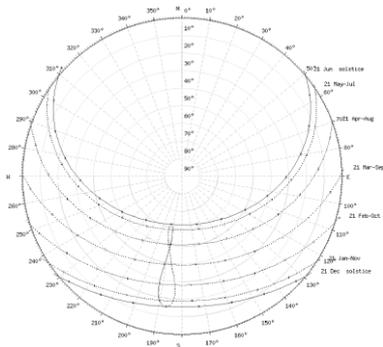


Fig. [52] - Carta solar esférica de Düsseldorf. Esta representación nos permite apreciar el recorrido en planta del Sol para cada temporada del año. Fuente Fuente: sunearthtools

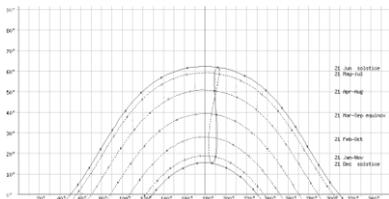


Fig. [53] - Carta solar cilíndrica de Düsseldorf. Esta representación nos permite apreciar la altura que toma el Sol para cada temporada del año. Fuente Fuente: sunearthtools

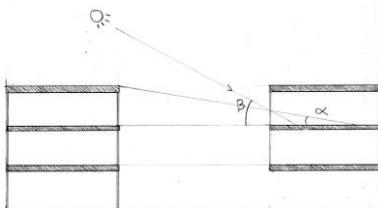


Fig. [55] - Esquema en el que se aprecia el ángulo máximo que podrá tener el Sol con respecto a la horizontal para incidir en la ventana (α) y el ángulo máximo del Sol para cada fecha estudiada (β). Se toma de referencia el punto central de la ventana. Fuente: Elaboración propia

Con estos objetivos, estudiamos las cartas solares que corresponden al emplazamiento del edificio para comprobar la fiabilidad de la captación energética a partir de los huecos.

La fachada noreste, no permitirá ganancia térmica por incidencia solar según lo establecido en el CTE por lo que no se tiene en cuenta en este estudio. Nos centraremos en la fachada suroeste que vuelca al patio interior.

Utilizando los datos que nos aporta la aplicación “Sunearthtools” obtenemos las horas en las que hay incidencia directa del Sol en caso de que no existiera ningún obstáculo [Fig. 52 y 53]. Realizaremos una tabla teniendo en cuenta los obstáculos [Fig. 54] pero simplificaremos el estudio aplicándolo únicamente sobre las ventanas situadas en el piso superior pues son las que más radiación directa recibirán [Fig. 55].

Día del año	Ángulo vertical máximo	Intervalo de ángulo vertical de incidencia (α - β)	Franja horaria de incidencia aprovechable ⁵	Nº de horas totales
21 Dc	15°	9°-15°	14:20-15:00	0:40 h
21 En-21 Nv	19°	9°-19°	14:00-15:20	1:20 h
21 Fb-21 Oc	28°	9°-28°	13:45-16:20	2:35 h
21 Mz-21 Sp	39°	9°-39°	13:45-17:30	3:45 h
21 Ab-21 Ag	51°	9°-51°	13:40-17:30	3:50 h
21 My-21 Jl	59°	9°-59°	13:35-17:00	3:25 h
21 Jn	63°	9°-63°	13:30-16:45	3:15 h

Fig [54] - Tabla de los datos de soleamiento del hueco estudiado. Fuentes: Elaboración propia

⁵ La franja horaria de incidencia aprovechable se ha definido con los valores que coinciden en el intervalo de azimut entre 205 y 265 (carta solar en planta) y el intervalo de ángulo vertical de incidencia (carta solar cilíndrica). [Fig. 56 y 57]

En la tabla anterior, se han obviado las incidencias que actúen con más de 30° (azimut) con respecto a la fachada porque, en esos casos, la reflexión que produce es mayor que la cantidad de radiación que penetra al interior (Luxán, y otros 2009). Limitándonos a la orientación suroeste entre 205° y 265° [Fig. 56]

Complementando a esta información de número de horas totales de incidencia solar tenemos el número de días mensuales que tenemos cielo despejado, nunca superando los 7 de media. Esto provoca que, por ejemplo, en septiembre tendremos una media de 5,8 días despejados más 14,6/2 días parcialmente nublados⁶ por 3h 45 min de radiación diaria, generando total de 49h y 7 min de incidencia solar directa durante septiembre y, por ejemplo, en el mes de diciembre (el más desfavorable), tendremos una media de 2,6 días despejados más 8,8/2 días parcialmente nublados por 40 min de radiación diaria, generando un total de 4h 40 min en todo el mes. Las conclusiones serán:

- No se puede depender de la captación solar directa para el acondicionamiento interior por la gran cantidad de días nublados y de precipitaciones que tiene la ciudad de Düsseldorf, sobre todo para los meses invernales.
- Para los días de primavera y otoño que estén despejados no necesitarán de calefacción convencional en las horas de incidencia solar directa.
- Para los meses de julio y agosto, será recomendable evitar esta incidencia directa, sobre todo, en las primeras horas de la tarde. Problema solucionado con las persianas venecianas situadas en la cámara entre los vidrios.

Conociendo todos estos datos, se procede al cálculo del factor solar modificado a partir de la fórmula:

$$F_{Hlim} = F_s \times [(1 - FM) \times g^{\perp} + FM \times 0.04 \times U_m \times a]$$

Consideraremos que el $F_s = 1$ (suponiendo que no existiesen las persianas venecianas), que $g^{\perp} = 0.6$ (valor aproximado al tratarse de un doble acristalamiento con un vidrio aislante) y que $a = (0.2+0.95)/2$ (al tratarse de un premarco la mitad negro y la mitad blanco) con lo que tendremos

$$F_{Hlim} = 1 \times [(1 - 0,25) \times 0,6 + 0,25 \times 0.04 \times 4 \times 0,57]$$

$$F_{Hlim} = 0.47 > 0.42 \quad \text{NO CUMPLE (sin persianas venecianas)}$$

En el caso que aparezcan las lamas de las persianas venecianas, al tratarse de unas lamas abatibles que pueden controlar la cantidad de incidencia solar al interior el $F_s = 0$

$$F_{Hlim} = 0 < 0.42 \quad \text{CUMPLE}$$

4.1.3 OTROS ASPECTOS

Al tratarse de un acristalamiento de gran calidad que cumple las restricciones de transmitancia de calor máximas probablemente se trate

⁶ Los días parcialmente nublados se dividen entre dos para el cálculo de la incidencia solar total porque se refiere a días en los que el cielo está cubierto entre un 20% y un 50 %.

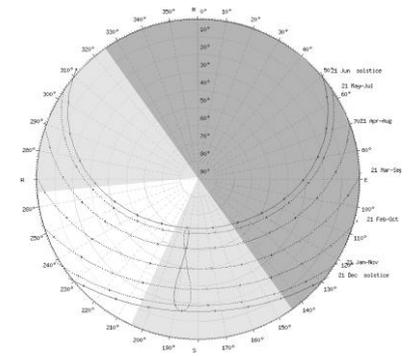


Fig. [56] - Carta solar esférica de Düsseldorf. Esta representación nos permite apreciar el rango de recorrido del Sol que nos interesa para la captación energética. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

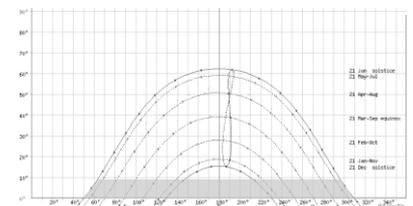


Fig. [57] - Carta solar cilíndrica de Düsseldorf. Esta representación nos permite apreciar la altura del Sol que no queda bloqueada por el otro edificio que conforma el patio de la escuela. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

de una carpintería con menor índice que $27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ de permeabilidad al aire. Pero no se dispone de la especificación concreta para determinarlo.

Otro factor interesante de estudio es si el acristalamiento propuesto es suficiente para abastecer de luz natural toda la profundidad de las aulas. Los acristalamientos tratados tienen una altura total de casi 3 metros (de forjado a forjado). Según lo estudiado anteriormente, la iluminación puede llegar a una profundidad de hasta 2,5 veces la altura del dintel, esto significa que podría llegar luz útil hasta 7,5 metros desde la fachada. Dado que la profundidad de todas las aulas es de 7 metros, se dispone de luz natural sin necesidad de utilizar luz artificial durante el día.

Además, al incorporar las lamas venecianas, se consigue que siempre que se quiera, se disponga de luz indirecta para el interior, pues es el tipo de iluminación idónea para los espacios de aprendizaje y estudio.

4.1.4 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

La rehabilitación descrita, obra de Klaus Legner y Michael van Ooyen, es un claro ejemplo de rehabilitación energética de un edificio con valor histórico para adecuarlo a las necesidades de estanqueidad que requiere cualquier edificio de ese carácter en la actualidad.

Las soluciones tomadas, cumplen en su totalidad con la normativa española existente para las localidades que le corresponden una zona climática E1. Esto se consigue gracias a la incorporación de un acristalamiento repetido para todos los huecos del proyecto (tanto fachada noreste como suroeste) que resuelve todos los problemas existentes:

- Al incorporar un doble vidrio y al ser uno de ellos bajo emisivo reduce la U a $1.1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$, un valor bajísimo para los cerramientos acristalados
- Y al incorporar una cámara de aire muy ancha en la que se permiten alojar los elementos de protección, consiguiendo no perder en ningún momento la apariencia del antiguo edificio de la década de los 60. Elementos de protección necesarios para no sobrepasar los valores de factor solar modificado que peligrosaban al ser gran parte de la fachada acristalada y por estar orientada al suroeste.

Desde el punto de vista de conservación del patrimonio bajo la interpretación de los arquitectos estudiados se podría definir como una obra que basa el conjunto global de intervención en el desarrollo de un detalle constructivo. Un detalle constructivo contemporáneo y sincero que emula la antigua concepción del edificio. La importancia de este en el desarrollo del proyecto define una forma de trabajar muy semejante a la del arquitecto español Linazasoro.

Esta solución, que les permitió ganar el concurso de la escuela, ha permitido resolver las exigencias de la normativa sin afectar a la apariencia exterior del edificio.

Sin embargo, desde el punto de vista de los argumentos de Torres Balbás caben dos posibilidades:

- Se trata de una estrategia equivocada pues, con la rehabilitación de la fachada se intenta imitar la apariencia del edificio original y por tanto, de engañar al espectador.
- O, por otro lado, en la intervención planteada se mantiene la idea del edificio original: la austeridad y la sencillez de la fachada en la escuela mediante la repetición sistemática del mismo acristalamiento para todo el complejo mediante un sistema de cerramiento totalmente distinto que permite solucionar los problemas térmicos que suponía el diseño original. Un detalle contemporáneo que sintetiza perfectamente lo nuevo y lo viejo.

De lo que no cabe duda alguna, es que gracias a la intervención propuesta por los arquitectos, el edificio es funcional y eficiente. Además, desde una perspectiva más personal, este tipo de rehabilitaciones aportan valor añadido al edificio, participando, de lo que afirmaba el famoso Torres Balbás, en el concepto de que los monumentos históricos viven y se transforman reflejando las distintas épocas y sus inquietudes arquitectónicas.



Fig. [58] - Vista del edificio rehabilitado en el contexto urbano. Fuente: (Mestre 2015)



Fig. [59] - Detalle de la solución utilizada para los huecos. Fuente: (Mestre 2015)

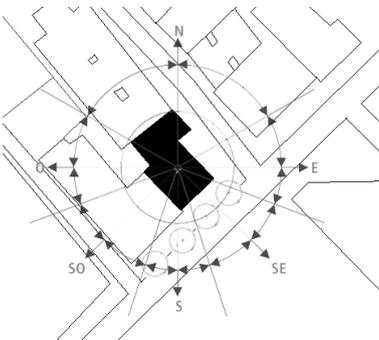


Fig. [60] - Planta del proyecto. En negro está representado el cuerpo de estudio. Sobre la planta, se ha superpuesto el esquema de orientación facilitado por el DB-HE. Fuente: elaboración propia.

4.2 OLIVÉ GUMÁ CLINIC, BARCELONA, ESPAÑA. OCTAVI MESTRE Y GUIM COSTA

La intervención, obra de Octavi Mestre y Guim Costa, ocupa un antiguo edificio fundado en 1926 propiedad del Grupo Mutua Madrileña. El objetivo del proyecto era la ampliación en superficie del edificio original (plantas sótano y plantas superiores) y se realiza de forma contundente, reafirmando la presencia del antiguo palacete en el contexto urbano [Fig. 58].

Para evitar el simple mimetismo de un edificio que, según los arquitectos carecía de interés pese a su catalogación, se utiliza un claro estilo levantando en las últimas plantas una celosía de acero cortén contrastando sobre la fachada blanca del edificio original.

Para vincular ambas partes, se utiliza en las ventanas unas cajas de acero cortén que recogerán la carpintería exterior. Convirtiéndose en el elemento de interés para esta investigación [Fig. 59]

Nos centraremos pues, en los huecos de ambas fachadas exteriores. Con sus orientaciones a noreste (la fachada de entrada) y sureste. [Fig. 60]

4.2.1 CUMPLIMIENTO DE LA TRANSMITANCIA MÁXIMA

Como en el estudio anterior, elaboramos la tabla que refleja el clima, en este caso, de la ciudad de Barcelona [Fig. 61]

	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	
Med. $T_{a_{max}}$	13.1	14.1	16.1	18.6	21.7	25.3	27.9	27.5	25.1	20.9	16.5	13.7	20.0
Med. $T_{a_{min}}$	6.6	7.4	9	10.7	13.8	17.5	20.3	20.2	18.3	14.4	10.3	7.7	13.5
Med. T_a	9.8	10.7	12.5	14.6	17.7	21.4	24.1	23.8	21.7	17.6	13.4	10.7	16.8
Oscilación	6.5	7.3	7.1	7.9	7.9	7.8	7.6	7.3	6.8	6.5	6.2	6.0	6.5
Días despejados	11.4	8.8	9.5	6.8	5.8	7.5	10	10.3	7.9	8.5	10.2	11.6	
Días parcialm. nublados	11.1	12.1	14.9	16.1	19.5	20.5	20.1	19	18.3	15.5	11.6	11.3	
Días nublados	8.5	7.4	6.6	7.1	5.7	1.9	0.9	1.7	3.8	7.0	8.2	8.2	
$H_{r, med}$	76	73	74	72	73	72	71	73	74	76	71	73	73

Fig. [61] - Tabla de los datos climáticos de Barcelona. Fuentes: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en www.meteoblue.com, es.climate-data.org y <http://www.climatedata.eu>

A continuación, comprobamos las limitaciones de transmitancia máxima establecidas por el DB-HE para la ciudad de Barcelona que se corresponde con la zona climática C2 [Fig. 62].

D.2.10 ZONA CLIMÁTICA C2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno **U_{Mlim}: 0,73 W/m² K**
 Transmitancia límite de suelos **U_{Slim}: 0,50 W/m² K**
 Transmitancia límite de cubiertas **U_{Clim}: 0,41 W/m² K**
 Factor solar modificado límite de lucernarios **F_{Llim}: 0,32**

% de huecos	Transmitancia límite de huecos U _{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F _{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	0,60	-	-
de 31 a 40	2,6	3,0	3,9	3,9	-	-	-	0,47	-	0,51
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	0,59	-	-	0,40	0,58	0,43
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	0,51	-	0,55	0,35	0,52	0,38

Fig. [62] – Exigencias climáticas de cerramiento para la zona climática C2. Fuente: (DB-HE 2013)

Con esta tabla y calculando que en la fachada noreste los huecos ocupan un 31,9 % (teniendo en cuenta la parte de la ampliación en el cálculo, en caso de no tenerse en cuenta 22,4 %), los hueco deberán tener una transmitancia máxima de 2,6 W/m²K. Por otro lado, los huecos en la fachada sureste ocupan un 11,3 % (Sin tener en cuenta la parte ampliada 12,1 %). En este caso, tendremos una transmitancia máxima del 4,4 W/m²K, un valor altísimo debido a las buenas condiciones del clima de Barcelona.

Analicemos los planos y el detalle constructivo de la solución para los huecos en el proyecto⁷ [Fig. 63, 64 y 65].

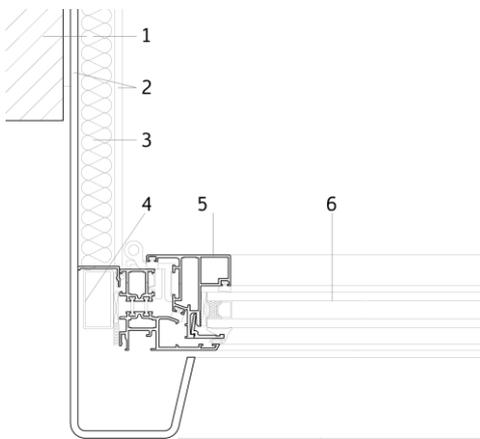


Fig. [65] – Detalle en planta de los huecos planteados en el proyecto. Fuente: Octavio Mestre. Leyenda:

1. Fachada original sin añadir aislamiento
2. Caja de acero cortén que sirve de jamba, dintel y alféizar con doble lámina metálica (e=5mm) para localizar el aislamiento térmico.
3. Aislamiento térmico (24 mm)
4. Premarco metálico sujeto a la caja de acero cortén.
5. Carpintería de aluminio con rotura de puente térmico. Esta queda prácticamente oculta al exterior
6. Doble acristalamiento climalít formado por vidrios de 6 mm y una cámara interior de 12. U=2.8 W/m²K (aproximado).

Esta sencilla y eficaz solución permite llevar el aislamiento térmico desde la carpintería, alineada al exterior, hasta la hoja interior del muro, solucionando infiltraciones de calor cruzadas. Esto, junto al uso de los cerramientos de calidad media permite llegar a unos niveles de estanqueidad en los huecos considerable al no haber tratado la envolvente general del edificio.

⁷ Para esta investigación, tendremos únicamente en cuenta las ventanas de la planta superior pues serán las más interesantes en cuanto a la posibilidad de la captación energética del siguiente apartado. Estas tienen unas dimensiones de 1m x 1.6m

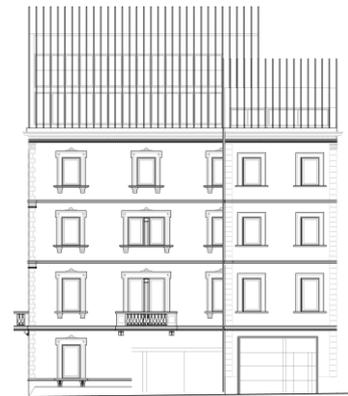


Fig. [63] – Alzado noreste del proyecto. Primer acercamiento en el plano a los huecos de estudio.

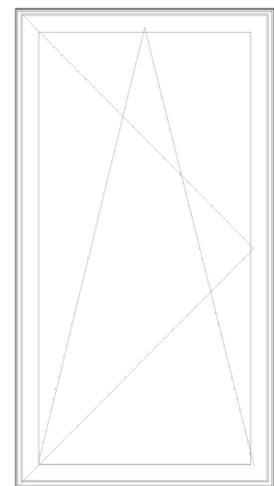


Fig. [64] – Detalle de una de las ventanas de estudio. Se trata de una ventana oscilobatiente. En la sección en planta se marca el detalle de estudio. Fuente: Octavio Mestre,

Volviendo al análisis del cumplimiento de la normativa, vemos que el acristalamiento propuesto tiene una U igual a $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Conociendo que una carpintería de aluminio con rotura de puente térmico tiene una U de, en el peor de los casos ($d=4 \text{ mm}$), igual a $4 \text{ W/m}^2\text{k}$. Calculamos la U total de la ventana:

$$U_T = U_M \times FM + U_H \times (1-FM)$$

Sabiendo que el factor de marco es el 23,5 % de la ocupación total de la ventana tendremos una U final de:

$$U_T = 4 \times 0.235 + 2.8 \times (1-0.235)$$

$$U_T = 3,082 > 2,6 \text{ W/m}^2\text{k.} \quad \text{NO CUMPLE}$$

Por lo que las ventanas orientadas a noreste no cumplirían. Habría que replantear estos acristalamientos y colocar uno de los cristales bajo emisivos. Esto permitiría disminuir notablemente la transmitancia de calor hasta conseguir una $U=1,8\text{W/m}^2\text{K}$.

$$U_T = 4 \times 0.235 + 1.8 \times (1-0.235)$$

$$U_T = 2,317 < 2,6 \text{ W/m}^2\text{k.} \quad \text{CUMPLIRÍA}$$

Por otro lado, la fachada suroeste con una U máxima de $4,4 \text{ W/m}^2\text{k}$. cumpliría pues la exigencia es muy reducida:

$$U_T = 4 \times 0.235 + 2.8 \times (1-0.235)$$

$$U_T = 3,082 < 4,4 \text{ W/m}^2\text{k.} \quad \text{CUMPLE}$$

4.2.2 APROVECHAMIENTO DE LA INCIDENCIA SOLAR DIRECTA Y CUMPLIMIENTO DEL FACTOR SOLAR MODIFICADO MÁXIMO

Superponemos los datos climáticos de Barcelona en la carta bioclimática de Givoni para calcular las necesidades térmicas de nuestro edificio. [Fig. 66].

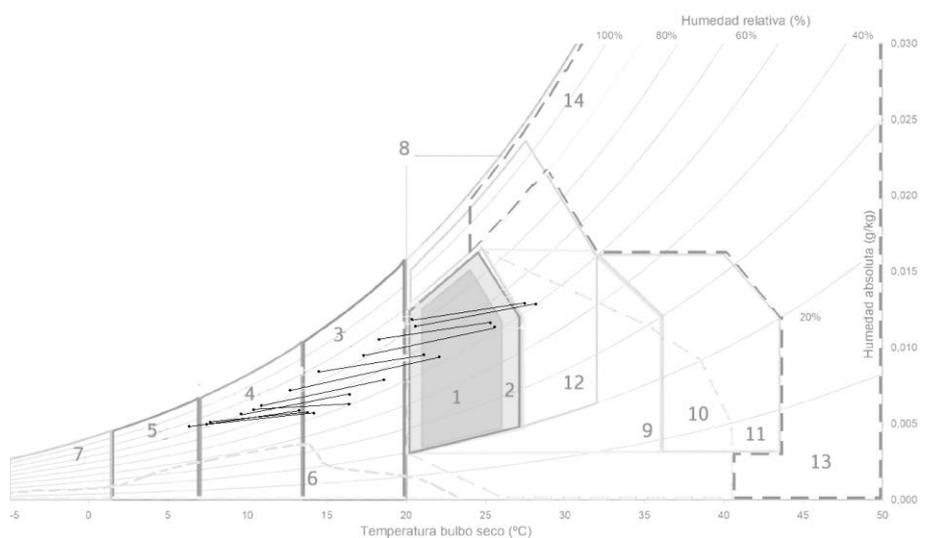


Fig. [66] – Carta bioclimática de Givoni con los datos climáticos de Barcelona. Fuente: Elaboración propia

De esta gráfica concluimos que:

- Hay que aprovechar el soleamiento entre los meses de octubre y mayo incluidos, evitando la incidencia directa en las horas de medio día de estos dos últimos.
- Durante prácticamente todos estos meses del año, a excepción de las primeras horas de la mañana de enero, se podría alcanzar en confort térmico simplemente a partir de la captación solar (4) y de la ganancia de calor por la carga interna (3).
- Para los meses de junio, julio, agosto y septiembre, se priorizará la protección ante la incidencia solar (8) y la ventilación natural mecánica (12) para el acondicionamiento del edificio.

Con estos objetivos, estudiamos las cartas solares que corresponden al emplazamiento del edificio para comprobar la fiabilidad de la captación energética a partir de los huecos.

La fachada noreste, no permitirá la ganancia térmica por incidencia solar según lo establecido en el CTE por lo que no se tiene en cuenta en este estudio. Nos centraremos en la fachada suroeste.

Utilizando los datos que nos aporta la aplicación “Sunearthtools” obtenemos las horas en las que hay incidencia directa del Sol en caso de que no existiera ningún obstáculo. Realizamos una tabla teniendo en cuenta los obstáculos [Fig. 67] y de nuevo, simplificaremos el estudio aplicándolo únicamente sobre las ventanas situadas en el piso superior pues son las que más radiación directa recibirán⁸ [Fig. 68]. Además, como en el caso anterior, se obviarán las incidencias que actúen con más de 30° (azimut) [Fig. 69].

Día del año	Ángulo vertical máximo	Intervalo de ángulo vertical de incidencia ($\alpha-\beta$)	Franja horaria de incidencia aprovechable ⁹	Nº de horas totales
21 Dc	25°	31°-25°	-	0:00 h
21 En-21 Nv	29°	31°-29°	-	0:00 h
21 Fb-21 Oc	38°	31°-38°	10:40-12:05	1:25 h
21 Mz-21 Sp	49°	31°-49°	9:35-12:20	2:45 h
21 Ab-21 Ag	61°	31°-61°	9:40-12:35	2:55 h
21 My-21 Jl	69°	31°-69°	10:15-12:40	2:25 h
21 Jn	73°	31°-73°	10:30-12:40	2:20 h

Fig [67] - Tabla de los datos de soleamiento en los huecos de la planta tercera en la fachada suroeste. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la aplicación “Sunearthtools”

⁸ Curiosamente, existe un gran solar enfrente del edificio de estudio, pero dado que esta investigación pretende tener en cuenta los posibles factores futuros, nos pondremos en el caso de que existe una construcción del mismo número de plantas que los colindantes: 6.

⁹ La franja horaria de incidencia aprovechable se ha definido con los valores que coinciden en el intervalo de azimut entre 205 y 265 (carta solar en planta) y el intervalo de ángulo vertical de incidencia (carta solar cilíndrica). [Fig. 69 y 70].

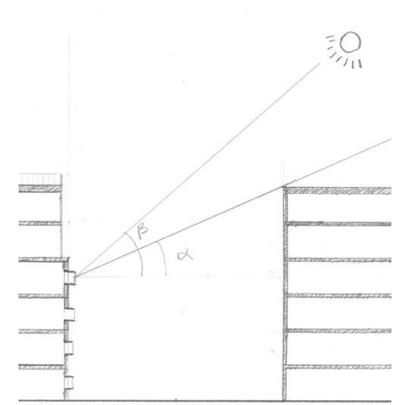


Fig. [68] - Esquema en el que se aprecia el ángulo máximo que podrá tener el Sol con respecto a la horizontal para incidir en la ventana (α) y el ángulo máximo del Sol para cada fecha estudiada (β). Se toma de referencia el punto central de la ventana. Fuente: Elaboración propia

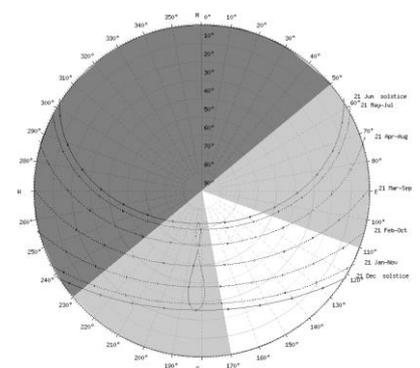


Fig. [69] - Carta solar esférica de Barcelona. Esta representación nos permite apreciar el rango de recorrido del Sol que nos interesa para la captación energética. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

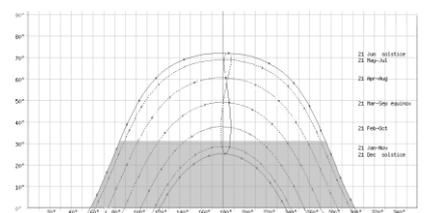


Fig. [70] - Carta solar cilíndrica de Barcelona. Esta representación nos permite apreciar la altura del Sol que no queda bloqueada por un posible edificio enfrente de la calle. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

Multiplicando el número de horas totales de incidencia solar por el número de días despejados y por el número de días parcialmente nublado/2 calculamos el número total de horas incidentes cada mes. Obteniendo, por ejemplo, para el mes de febrero, que se necesita de captación solar, un total de 21h y para el mes de agosto, que se necesita de protección solar, un total de 57h 45min.

Al tratarse de huecos que no tienen ningún tipo de cerramiento practicable sería recomendable plantear alguna otra estrategia que permitiese esta protección del Sol en los meses de junio, julio, agosto y septiembre debido al elevado número de horas de incidencia directa. Actualmente, frente a la fachada sureste del edificio, existen grandes árboles de hoja caduca que dan cierta protección. Pese a ello, en el cálculo del factor solar modificado no se tendrán en cuenta.

Otra estrategia que podría haber sido efectiva en cuanto a la protección del Sol durante estos meses de verano hubiera sido retranquear la hoja de acristalamiento en la caja, utilizándola de Bri-solei. En el diseño, únicamente existen 7,5 cm de retranqueo que no dan protección suficiente. [Fig. 71]

Las principales conclusiones obtenidas serán:

- No es posible la captación energética de noviembre a enero y en octubre y noviembre se obtienen muy pocas horas de incidencia solar directa mensual. Por lo que no es recomendable depender de la captación solar para el acondicionamiento del edificio
- La principal prioridad de los huecos debería ser la protección del Sol, pues reciben incidencia solar directa sobre todo en meses que debería evitarse.

Conociendo todos estos datos, se procede al cálculo del factor solar modificado a partir de la fórmula:

$$F_{Hlim} = F_s \times [(1 - FM) \times g^{\perp} + FM \times 0.04 \times U_m \times a]$$

Consideraremos que el $F_s = 0,95$ (valor aproximado [Fig. 71]), que $g^{\perp} = 0.72$ (valor aproximado al tratarse de un doble acristalamiento 6+12+6) y que $a = 0.75$ (al tratarse de un premarco de color marrón) con lo que tendremos

$$F_{Hlim} = 0.95 \times [(1 - 0,235) \times 0,72 + 0,235 \times 0.04 \times 4 \times 0,75]$$

$$F_{Hlim} = 0.55 > - \quad \text{CUMPLE}$$

No existe limitación al tener únicamente un porcentaje de huecos de 11.3 % en la fachada sureste.

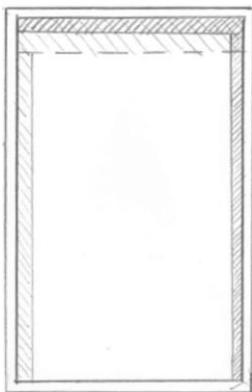


Fig. [71] – Representación del recorrido de la sombra en una ventana de la cuarta planta de la fachada sureste en el mes de agosto (en oscuro - sombra a las 9:40 y, - en claro - sombra a las 12:23. Se aprecia que el retranqueo no es suficiente como para que la caja actúe de Bri-Solei. El factor de sombra, por tanto, valdrá aproximadamente el 95 %. Fuente: elaboración propia

4.2.3 OTROS ASPECTOS

No se dispone de la especificación concreta en cuanto a la permeabilidad de las carpinterías. Estas deberían cumplir con un índice menor de 27 m³/hm².

En lo referente a la iluminación, estos huecos sirven a pequeñas salas de consulta o a grandes salas de espera [Fig. 74]. Será interesante comprobar si la luz natural procedente de estas ventanas es suficiente para abastecer, por lo menos, a las pequeñas habitaciones. Estas

últimas, tienen una profundidad con respecto a la fachada de 3 metros. El dintel de estas aberturas está situado a una altura de 2.2 metros, que multiplicado por el 2.5 de penetración de la luz, nos serviría holgadamente. Sin embargo, también es necesario comprobar que la superficie de la ventana sea, al menos, el 20 % de la superficie total de la habitación para que esto se cumpla. Esta condición dependerá de cada sala pues tienen distintos tamaños. Concluyendo que, por lo general, no se requerirá de fuentes artificiales de luz durante el día.

4.2.4 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

El proyecto propone una interesante estrategia para los huecos y evitar así los puentes térmicos que hubieran supuesto alinear la hoja en el muro. Pese a esta audaz técnica que parece apostar por la estanqueidad y la captación energética, una vez calculados los valores de transmitancia térmica, comprobamos que los huecos de la fachada noreste no cumplen los valores mínimos. Debiéndose haber planteado dobles acristalamientos con uno de ellos bajo emisivo para entrar dentro de la normativa referida a edificios de nueva planta.

Pese a ello, al no plantear otra solución para el resto de la envolvente se demuestra que, el control y la eficiencia energética, no era el objetivo principal de la intervención.

La decisión de alinear la hoja de vidrio en el exterior de la caja no permite protegerse de la incidencia solar en los meses de verano. Es verdad que crea una imagen atractiva desde el exterior y, en el interior, enfatiza la profundidad del hueco, pero desde el punto de vista energético y de protección de la propia carpintería ante agentes externos, probablemente no sea la decisión más correcta. Pese a ello, se disponen unos grandes árboles de hoja caduca en la calle que protegen el sobrecalentamiento interior en verano.

Desde el punto de vista del respeto al patrimonio histórico, caben diferentes interpretaciones. El desarrollo del detalle constructivo permite aunar por un lado, el pensamiento de Zumthor y Linazasoro por la dedicación y la sinceridad del detalle constructivo y la importancia de su materialidad y, por otro lado, el pensamiento de Chipperfield al generar estos elementos que se separan del edificio original marcando su atemporalidad frente al antiguo palacete [Fig. 73 y 74].

Sin embargo, también cabe la interpretación de que, dichos elementos, actúan como focalizadores de la atención, robándole, a la antigua construcción, el protagonismo y su percepción original. Este pensamiento entra en conflicto con gran parte de los arquitectos estudiados, que planteaban intervenciones que, sobre todo, mantuvieran el carácter del edificio inicial. Octavi Mestre y Guim Costa argumentan que la fachada, pese a estar catagolada, carecía de especial interés pues el edificio ya había sido intervenido y ampliado en una ocasión. Sin embargo, este problema no fue un impedimento para Herzog y de Meuron en el proyecto de Park Avenue Armory, NY.

Pese a estas posiciones, el proyecto de estos dos arquitectos ha permitido dotar de fuerza al edificio en el contexto urbano.



Fig. [72] - Planta tipo (2,3) y planta primera del proyecto. En gris marcadas las habitaciones o espacios a los que sirven los huecos. Fuente: Octavio MEstre



Fig. [73] - Detalle del encuentro de la caja contemporánea de carácter atemporal y el detallado contorno en revoco del hueco original. Fuente: Octavio MEstre



Fig. [74] - Detalle del encuentro de la caja contemporánea de carácter atemporal y el detallado contorno en revoco, la jamba y el alféizar. Fuente: Octavio MEstre



Fig. [75] - Imagen de la situación del edificio antes de su restauración. Fuente pasajesdsn.wordpress.com



Fig. [76] - Apariencia del edificio tras la finalización de la rehabilitación en 2010. Fuente pasajesdsn.wordpress.com



Fig. [77] - Interior del museo, bañado con la luz tamizada y dirigida a partir de las cajas colgantes que recogen la luz del lucernario. Fuente pasajesdsn.wordpress.com



Fig. [78] - Diferente solución para los huecos exteriores según se trabaje la ventana o la puerta. Fuente pasajesdsn.wordpress.com

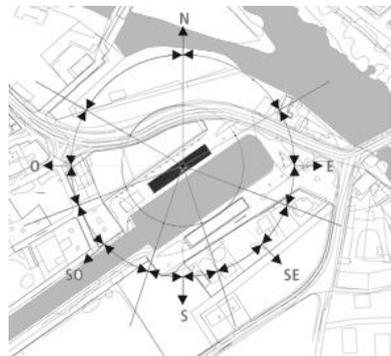


Fig. [79] - Planta del proyecto. En negro está representado el cuerpo de estudio. Sobre la planta, se ha superpuesto el esquema de orientación facilitado por el DB-HE. Fuente: elaboración propia.

4.3 MUSEO DEL AGUA, PALENCIA, ESPAÑA. MID ESTUDIO

El presente proyecto, obra de MID estudio, trata la rehabilitación de un almacén de grano situado en el canal de Castilla y su conversión en el museo del agua de Palencia. El edificio original, data de la primera mitad del siglo XX [Fig. 75] y se construyó con el objetivo de equipar con dos almacenes la antigua dársena fluvial datada en 1803, que finalmente cayó en decadencia por la aparición del ferrocarril.

El edificio original, se caracterizaba por su estructura a partir de muros de carga de hormigón en masa terminados con una hoja de ladrillo caravista al exterior. Sobre estas fachadas descansaba la cubierta con una estructura de cerchas de madera.

Uno de los puntos principales de la intervención, será la aparición de un gran lucernario longitudinal que descansará sobre la estructura original sin alterarla [Fig. 76]. Este elemento, articulará, mediante un eje vertebrador, todo el interior y lo dotará de una luz homogénea, indirecta y cualificada que se refleja en una lámina de agua central [Fig. 77]

Por otro lado, el elemento de interés para este estudio será la curiosa solución utilizada para los huecos en fachada. En estos, aparecen unos “artefactos” cuyo objetivo no es otro que, en las ventanas, conducir y tamizar la luz, y en las puertas, generar unas zonas de descanso con unos pequeños miradores al puerto fluvial [Fig. 78].

En este estudio nos centraremos en los huecos propuestos como miradores en las antiguas puertas del almacén. Posteriormente será sencillo extrapolar estos datos a las ventanas pues tienen una configuración semejante. Sus orientaciones serán noroeste sureste [Fig. 79]

4.3.1 CUMPLIMIENTO DE LA TRANSMITANCIA MÁXIMA

Elaboramos la tabla que refleja el clima, en este caso, de la ciudad de Palencia [Fig. 80]

	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	
Med. T_{max}^a	7.3	9.7	12.7	16.1	19.5	24.9	28.7	27.8	24.4	18	14.7	11.9	18
Med. T_{min}^a	-0.9	0	3.3	4.5	7.6	11.1	13	13.7	10.7	6.5	5.3	3.7	6.5
Med. T^a	3.2	4.8	8	10.3	13.5	18	20.8	20.7	17.5	12.2	10	7.8	12.2
Oscilación	8.2	9.7	9.4	11.6	11.9	13.8	15.7	14.1	13.7	11.5	9.4	8.2	11.5
Días despejados	5.1	7.5	9.9	7.5	7.7	13.5	19.8	18	14	9.2	6.8	6.2	
Días parcialm. nublados	13.9	12.7	13.6	14.9	17.5	13.9	10	11.4	12.3	13.3	12.5	12.9	
Días nublados	11.9	8.1	7.5	7.6	5.7	2.6	1.1	1.6	3.6	8.5	1.7	11.9	
H_{med}	84	77	70	69	66	64	57	58	63	72	80	84	70

Fig. [80] - Tabla de los datos climáticos de Palencia. Fuentes: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en www.meteoblue.com, es.climate-data.org y <http://www.climatedata.eu>

La ciudad de Palencia, se encuentra en una zona climática D2. Acudimos al DB-HE y comprobamos las exigencias para dicha zona [Fig. 81].

D.2.14 ZONA CLIMÁTICA D2

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	U_{Mim}: 0,66 W/m²K
Transmitancia límite de suelos	U_{Slim}: 0,49 W/m²K
Transmitancia límite de cubiertas	U_{Clim}: 0,38 W/m²K
Factor solar modificado límite de lucernarios	F_{Llim}: 0,31

% de huecos	Transmitancia límite de huecos U _{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F _{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,58	-	0,61
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,46	-	0,49
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	-	-	0,61	0,38	0,54	0,41
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,49	-	0,53	0,33	0,48	0,36

Fig. [81] - Exigencias climáticas de cerramiento para la zona climática D2. Fuente: (DB-HE 2013)

Con esta tabla y calculando que en ambas fachadas (pues ambas disponen de cuatro puertas y cuatro ventanas) los huecos ocupan un 3,8%¹⁰ los huecos deberán tener una transmitancia máxima de 3.5 W/m²K de nuevo, en ambas fachadas. Analicemos los planos y el detalle constructivo de la solución para los huecos en el proyecto [Fig. 82 y 83].

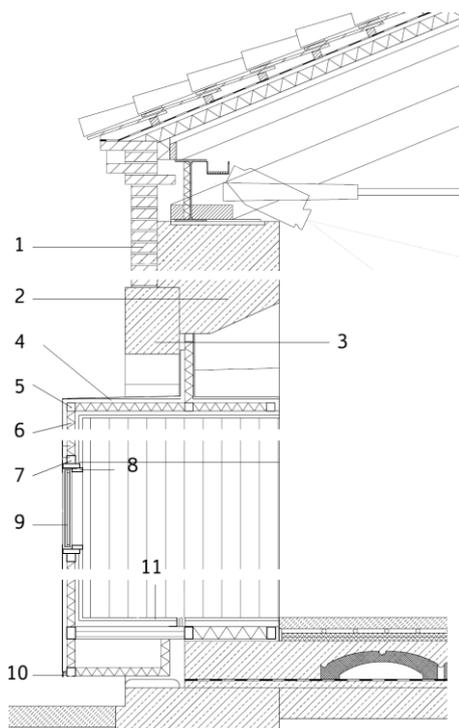


Fig. [83] - Detalle en sección de la solución propuesta para los huecos de las puertas. Leyenda:

1. Ladrillo caravista original.
2. Hormigón en masa estructural original.
3. Dintel en hormigón del hueco original.
4. Chapa de acero galvanizado e=3mm, lacado en color oscuro sobre imprimación específica.
5. Carpintería de aluminio con rotura de Estructura de perfiles de acero galvanizado
6. Aislamiento de lana de roca e=40mm.
7. Tablero DM hidrófugo de 19 mm.
8. Marco de madera de 80.20.2 y junquillo de 50.50.2.
9. Acristalamiento 6+6/12/4 Con una U aproximada de 1,8 KW/m²K considerando que el primero de los vidrios es bajo emisor (pues en los detalles se especifica que es vidrio aislante).
10. Perfil de acero en U funcionando como goterón.
11. Revestimiento de madera de roble E=15mm. Sobre tablero DM para la zona de los miradores. Fuente:(DETAIL 2010).

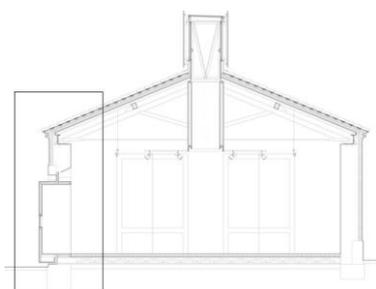


Fig. [82] - Sección transversal del museo. En la imagen se marca el detalle de estudio. Fuente:(DETAIL 2010).

Esta curiosa propuesta permite no intervenir sobre el hueco original como también ocurría en el proyecto anterior de Octavio Mestre y Guim Costa. Además, el panel sándwich, de acero galvanizado y lana de roca penetra hasta una zona central del muro resolviendo en parte los puentes térmicos cruzados. Sin embargo, al no intervenir en el resto de

¹⁰ Obtenemos un porcentaje de huecos tan bajo debido a que, en la rehabilitación, al introducir estos “artefactos” que tamizan y direccionan la luz o enmarcan ciertas vistas, la parte acristalada ocupa una proporción mucho menor.

la envolvente del edificio, se tendrán unas condiciones de estanqueidad y eficiencia térmica limitadas.

Recurriendo a la normativa, vemos que el acristalamiento propuesto tiene una U igual a $1,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. Conociendo que una carpintería de madera tiene una U de, en el peor de los casos, igual a $2,2 \text{ W/m}^2\text{k}$. Calculamos la U total de la ventana:

$$U_T = U_M \times FM + U_H \times (1-FM)$$

Sabiendo que el factor de marco es el 35 % de la ocupación total de la ventana tendremos una U final de:

$$U_T = 2,2 \times 0,35 + 1,8 \times (1-0,35)$$

$$U_T = 1,95 \ll 3,5 \text{ W/m}^2\text{k.} \quad \text{CUMPLE}$$

Resulta curioso, la gran estanqueidad y calidad de los acristalamientos en comparación con que el resto de la fachada no haya sido tratada con algún tipo de aislamiento. Este valor tan bajo servirá pues para intentar optimizar el ahorro energético del conjunto del edificio equiparando la resistencia a la transmitancia térmica del calor de los huecos a la del resto del muro (que con la hoja de ladrillo caravista de $\frac{1}{2}$ pie y el muro de hormigón de 35 cm obtenemos una $U=1.7 \text{ W/m}^2\text{K}$). Con esto, los arquitectos muestran su interés por optimizar la energía operacional del edificio pero, a su vez, limitar la intervención sobre el edificio preexistente y la inversión económica.

4.3.2 APROVECHAMIENTO DE LA INCIDENCIA SOLAR DIRECTA Y CUMPLIMIENTO DEL FACTOR SOLAR MODIFICADO MÁXIMO

Superponemos los datos climáticos de Palencia en la carta bioclimática de Givoni para calcular las necesidades térmicas de nuestro edificio. [Fig. 84].

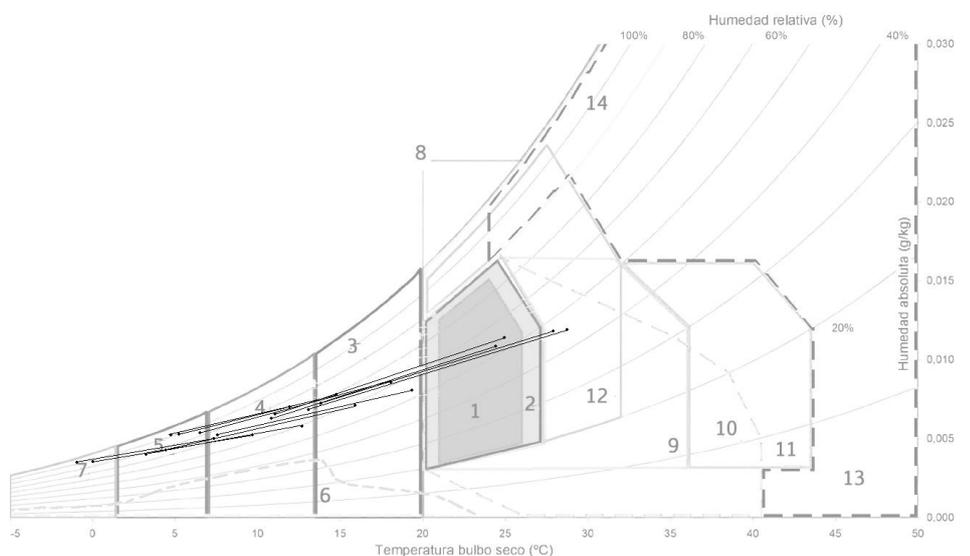


Fig. [84] - Carta bioclimática de Givoni con los datos climáticos de Palencia. Fuente: Elaboración propia.

De esta gráfica concluimos que:

- Hay que aprovechar todas las horas de incidencia solar posibles entre los meses de octubre a mayo incluidos.
- Debido a la gran variación de temperatura durante el día, se requerirá captación energética todas las mañanas del año, incluidas las de los meses de verano.
- Será necesaria la protección del Sol en los meses de verano a las horas del mediodía. Sobre todo, en los meses de julio y agosto.
- Será necesaria la calefacción tradicional en los meses más fríos debido a las bajas temperaturas
- Se recurrirá a la ventilación natural en caso de necesitar disminuir la temperatura interior durante todo el año excepto a las horas del medio día de los meses de verano.

La fachada noreste, no permitirá la ganancia térmica por incidencia solar según lo establecido en el CTE por lo que no se tiene en cuenta en este estudio. Nos centraremos en la fachada sureste.

Utilizamos los datos aportado por la aplicación “Sunearthtools” realizamos una tabla [Fig. 85] teniendo en cuenta los obstáculos que impiden la incidencia solar directa [Fig. 86, 87 y 88].

Día del año	Ángulo vertical máximo (β)	Intervalo de ángulo vertical de incidencia ($\alpha-\beta$)	Franja horaria de incidencia aprovechable ¹¹	Nº de horas totales
21 Dc	25°	7°-25°	9:40-12:55	3:15 h
21 En-21 Nv	29°	7°-29°	9:00-12:45	3:45 h
21 Fb-21 Oc	38°	7°-38°	8:45-12:50	4:05 h
21 Mz-21 Sp	49°	7°-49°	9:30-13:00	3:30 h
21 Ab-21 Ag	60°	7°-60°	10:25-13:05	2:40 h
21 My-21 Jl	68°	7°-68°	11:00-13:10	2:10 h
21 Jn	72°	7°-72°	11:10-13:10	2:00 h

Fig [85] - Tabla de los datos de soleamiento en los huecos de la planta tercera en la fachada sureste.. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la aplicación “Sunearthtools”

Multiplicando el número de horas totales de incidencia solar por el número de días despejados y por el número de días parcialmente nublado/2 calculamos el número total de horas incidentes cada mes. Obteniendo, por ejemplo, para el mes de octubre, que se necesita de captación solar, un total de 64h y 40 min un número muy considerable de horas para plantear la posibilidad de la captación energética. Para el mes de junio, que se necesita de protección solar al mediodía, se tendrá un total de 40h 55min. Deberían plantearse sistemas de protección para

¹¹ La franja horaria de incidencia aprovechable se ha definido con los valores que coinciden en el intervalo de azimut entre 205 y 265 (carta solar en planta) y el intervalo de ángulo vertical de incidencia (carta solar cilíndrica). [Fig. 87 y 88].

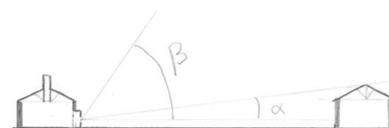


Fig. [86] - Esquema en el que se aprecia el ángulo máximo que podrá tener el Sol con respecto a la horizontal para incidir en la ventana (α) y el ángulo máximo del Sol para cada fecha estudiada (β). Se toma de referencia el punto central de la ventana. Fuente: Elaboración propia.

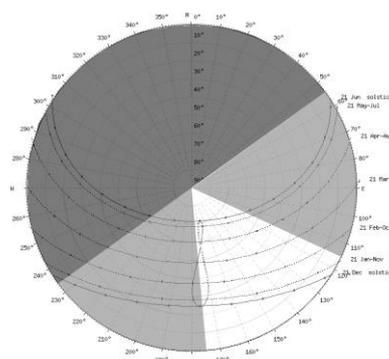


Fig. [87] - Carta solar esférica de Palencia. Esta representación nos permite apreciar el rango de recorrido del Sol que nos interesa para la captación energética. Fuente: Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

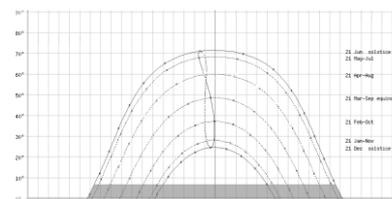


Fig. [88] - Carta solar cilíndrica de Palencia. Esta representación nos permite apreciar la altura del Sol que no queda bloqueada por el edificio situado al otro lado de la dársena fluvial. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools



Fig. [89] - Efecto de luz producido por uno de los huecos-miradores. Fuente: Fuente pasajesdsn.wordpress.com

dichas horas pero al tratarse de un clima con tanta variación de temperatura entre la mañana y la tarde, estos valores no serán tan desfavorables pues se producen en una franja horaria que va desde las 11:10 hasta la 13:10.

Con esto concluimos que, plantear la captación energética durante todo el año sería una estrategia acertada dado las grandes ventajas que suponen en los meses fríos y dado que las desventajas debidas al sobrecalentamiento no son tan importantes.

Pese a las buenas condiciones que presentan estos huecos en su orientación sureste, el planteamiento proyectual ha reducido mucho su superficie en el alzado, de manera que no serán lo suficientemente grandes ni numerosos como para acondicionar el gran espacio del antiguo almacén.

Conociendo todos estos datos, se procede al cálculo del factor solar modificado a partir de la fórmula:

$$F_{Hlim} = F_s \times [(1 - FM) \times g^\perp + FM \times 0.04 \times U_m \times a]$$

Consideraremos que el $F_s = 1$ (no existe ningún obstáculo), que $g^\perp = 0.72$ (valor aproximado al tratarse de un doble acristalamiento 6+6/12/4) y que $a = 0.95$ (al tratarse de un premarco de color oscuro) con lo que tendremos

$$F_{Hlim} = 1 \times [(1 - 0,35) \times 0,72 + 0,35 \times 0.04 \times 2,2 \times 0,95]$$

$$F_{Hlim} = 0.5 > - \quad \text{CUMPLE}$$

No existe limitación al tener únicamente un porcentaje de huecos del 3.8% en la fachada sureste.

4.3.3 OTROS ASPECTOS

No se dispone de la especificación concreta en cuanto a la permeabilidad de las carpinterías. Estas deberían cumplir con un índice menor de $27 \text{ m}^3/\text{hm}^2$.

En lo referente a la iluminación, estos huecos sirven una gran sala bañada por la cualificada luz del lucernario. Su objetivo no será tanto iluminar como producir curiosos efectos de luz al interior [Fig. 89]

Todo este estudio se ha centrado en el caso de las puertas antiguas del antiguo almacén actualizadas a las nuevas necesidades. Sin embargo las ventanas también son planteadas con una configuración muy interesante [Fig. 90]. Sin embargo, su reducido tamaño limita mucho las posibilidades de captación energética pese a la similitud a un pequeño muro trombé [Fig. 91].

4.3.4 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

El proyecto propone una interesante estrategia de intervención, tanto desde el punto de vista proyectual como energético. La aparición del "abstracto" lucernario brinda la oportunidad de introducir al interior del museo una luz homogénea e indirecta perfecta para este tipo de espacios. Además, el trato de los huecos en la fachada, consigue enriquecer la iluminación interior.



Fig. [90] - Comparación entre los tres distintos efectos luminosos de la puerta, y la ventana rehabilitadas y el novedoso lucernario. Fuentes: Fuente pasajes dsn.wordpress.com

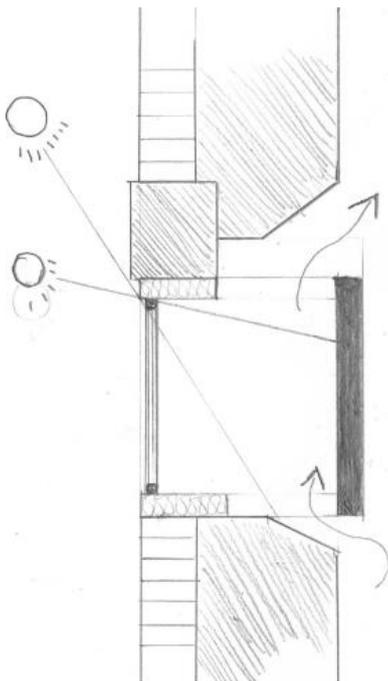


Fig. [91] - Detalle aproximado de la solución utilizada en la ventana (dibujada a partir de los planos y las fotografías). En este esquema se apunta la posibilidad de que la ventana actuase como un pequeño muro trombé. Para ello, el elemento marcado en negro debería poseer una masa considerable que permitiese la acumulación de energía. Debido a la inclinación del sol, esta acumulación de energía solo se produciría en los meses fríos. Fuente: Elaboración propia.

Energéticamente, la obra no pretende dotar al viejo almacén de una nueva envolvente que permita al edificio cumplir los mínimos de estanqueidad exigidos para construcciones de nueva planta. La intervención se centrará en dos puntos específicos: los huecos y la cubierta. Es aquí donde los arquitectos realizan un gran esfuerzo y diseñan unos huecos con un coeficiente de transmitancia térmica muy inferiores a los mínimos exigidos por la normativa, equiparándolos al aislamiento actual de los grandes muros de hormigón y fábrica.

Desde el punto de vista de conservación del patrimonio recurrimos a una argumentación muy semejante a la anterior pues se vuelve a repetir tanto la importancia del detalle constructivo como la importancia del lenguaje abstracto atemporal utilizado para compaginar lo preexistente y lo nuevo. Sin embargo, desde un punto de vista más personal, considero que es una intervención mucho más calmada, evitando tener el protagonismo de la percepción del edificio.

Un aspecto que podría extrapolarse a esta intervención es la idea de Ignacio Paricio de la arquitectura en constante evolución. Diseñar para ser fácilmente intervenido en el futuro. Esto es debido a que, pese a que la normativa exigiera únicamente una transmitancia máxima de $3,5 \text{ W/m}^2\text{K}$ los arquitectos plantean una carpintería de gran calidad que alcanza los $1,9 \text{ W/m}^2\text{K}$. Quién sabe si los arquitectos dejaron la posibilidad abierta de que se restaurara la envolvente en un futuro para convertir al antiguo almacén en un edificio energéticamente eficiente.

Un posible comentario crítico del proyecto es que, pese al carácter totalmente distinto que tienen ambas fachadas, pues una recibe luz directa y la otra no, los huecos son tratados de la misma manera. Esto significa que todos los efectos de luz de las imágenes pertenecen únicamente a la fachada sureste. Una diferenciación entre el tratamiento de los elementos de cada fachada hubiera sido interesante. Una posibilidad hubiera sido aprovechar el tamaño completo de los viejos huecos en la fachada sureste, para plantear esta idea de captación solar indirecta en las ventanas y captación solar directa en las puertas y, en la fachada noroeste, plantear dichos miradores y alguna otra estrategia para las pequeñas ventanas.

Esta estrategia probablemente hubiera sido tomada por Carlo Scarpa o por Herzog y de Meuron, que siempre buscaban la singularidad de cada elemento en el conjunto de la obra.



Fig. [92] - Volumen de la herrería rehabilitado destinado a uso museístico. Fuente: www.tectonicablog.com



Fig. [93] - Interior del volumen de estudio. Se crea una doble altura para apreciar la cubierta y se pinta todo de blanco. Fuente: www.tectonicablog.com



Fig. [94] - Comparación de los dos diferentes tratamiento de los huecos en la rehabilitación. Fuente: www.tectonicablog.com

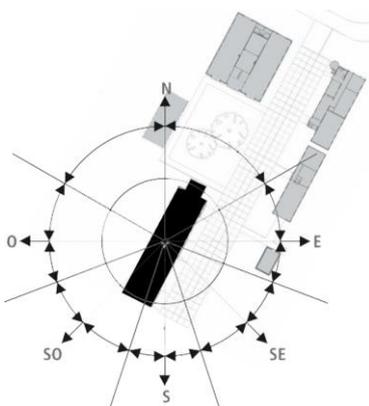


Fig. [95] - Planta del proyecto. En negro está representado el cuerpo de estudio. Sobre la planta, se ha superpuesto el esquema de orientación facilitado por el DB-HE. Fuente: elaboración propia.

4.4 MUSEO Y CENTRO DE EXPOSICIONES EN VEENHUIZEN, HOLANDA. ATELIER KEMPE THILL

Veenhuizen fue fundada a principios del siglo XIX como un reformatorio voluntario para la clase menos afortunada. Posteriormente, se abandonó este concepto social convirtiéndose, en la práctica, en una cárcel. Tras la reforma del sistema penitenciario holandés, muchas de las construcciones quedaron en desuso. Es entonces cuando se decide que, la sección de artesanía, se dedicaría a un uso museístico, llevándose a cabo el proyecto en 2005 por el arquitecto Atelier Kempe Thill.

El objetivo principal del arquitecto era devolver al estado original el viejo complejo. Alcanzar el ambiente rígido y estricto que caracterizaba a Veenhuizen en el siglo XIX. Con esto en mente, se derribaron las estructuras añadidas y se escogió el cuerpo de la antigua herrería [Fig. 92] para albergar el nuevo museo. Será en este volumen donde centraremos nuestra investigación.

En su interior, se ideó una gran doble altura para apreciar la preciosa cubierta desde la planta baja y se pintó todo de blanco, mostrando la austeridad del planteamiento [Fig. 93].

Pese a toda esta sencillez, se desarrolló una estrategia para el diseño de los huecos que caracterizará la intervención de este arquitecto alemán.

Se plantea el concepto de una nueva capa histórica separada del edificio original, materializada mediante grandes acristalamientos de cuatro metros de altura con puertas de vidrio reflectante de esmalte negro que cierran los huecos que quedaron abiertos con la demolición. Estos elementos contemporáneos actúan como vitrinas del muro y los huecos del viejo edificio [Fig. 94]. Estas cajas de cristal se colocarán en la fachada sureste del volumen estudiado. [Fig. 95].

4.4.1 CUMPLIMIENTO DE LA TRANSMITANCIA MÁXIMA

Elaboramos la tabla que refleja el clima Veenhuizen [Fig. 96]

	En	Fb	Mz	Ab	My	Jn	Jl	Ag	Sp	Oc	Nv	Dc	
Med. $T_{a_{max}}$	4.1	4.4	7.5	11	15.9	19	20.2	20.8	17.9	13.5	8.3	5	12.3
Med. $T_{a_{min}}$	-1.4	-1.4	0.7	3.2	6.9	9.9	11.5	11.4	9.4	6.5	2.9	0.1	5
Med. T^a	1.3	1.5	4.1	7.1	11.4	14.4	15.8	16.1	13.6	10	5.6	2.5	8.6
Oscilac.	5.5	5.8	6.8	7.8	9	9.1	8.7	9.4	8.5	7	5.4	4.9	8.3
Días despej.	2.1	1.9	3.1	3.6	3.9	2.4	3.4	3.7	3.2	4.9	1.6	2.3	
Días par. nublados	9	10.4	13.1	15.5	16.4	17.5	19.4	19.6	16.5	13.5	11.2	9	
Días nublados	19.9	15.9	14.9	10.9	10.7	10.2	8.2	7.7	10.3	13.1	17.2	19.7	
$H_{r_{med}}$	87	84	82	78	75	83	80	79	76	77	83	87	81

Fig. [96] - Tabla de los datos climáticos de Groninger (ciudad cercana a Veenhuizen). Fuentes: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en www.meteoblue.com, es.climate-data.org

Debido a que tenemos unos datos, semejantes a los trabajados también en Dusseldorf, volveremos a tomar las exigencias de la zona climática E1. [Fig. 97].

D.2.16 ZONA CLIMÁTICA E1

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno **U_{Mlim}: 0,57 W/m² K**
 Transmitancia límite de suelos **U_{Slim}: 0,48 W/m² K**
 Transmitancia límite de cubiertas **U_{Clim}: 0,35 W/m² K**
 Factor solar modificado límite de lucernarios **F_{Llim}: 0,36**

% de huecos	Transmitancia límite de huecos U _{Hlim} W/m ² K				Factor solar modificado límite de huecos F _{Hlim}					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,1	3,1	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,6	3,0	3,1	3,1	-	-	-	-	-	-
de 31 a 40	2,2	2,7	3,1	3,1	-	-	-	0,54	-	0,56
de 41 a 50	2,0	2,4	3,1	3,1	-	-	-	0,45	0,60	0,49
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	-	-	-	0,40	0,54	0,43

Fig. [97] - Exigencias climáticas de cerramiento para la zona climática E1.

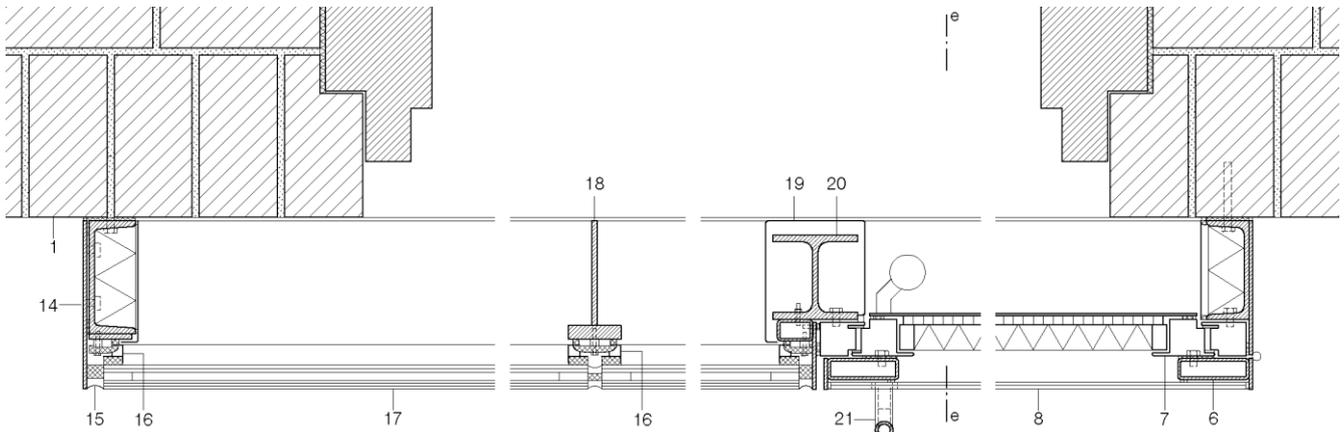
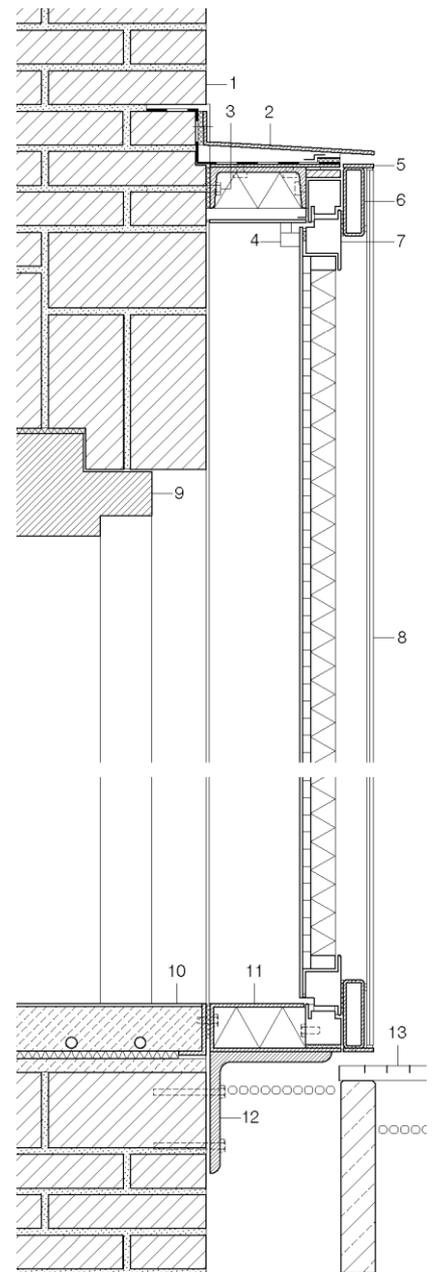
Con esta tabla y calculando que el porcentaje de huecos (considerando los nuevos acristalamientos) es igual al 53,3% del total de la fachada sabemos que los huecos deberán tener una transmitancia máxima de 3,0 W/m²K.

Analicemos los planos y el detalle constructivo de la solución para los huecos en el proyecto [Fig. 98 y 99].

Fig. [98, 99] - A la derecha, detalle en sección y debajo, detalle en planta de la solución propuesta para los huecos. Leyenda:

- 1. Fábrica de ladrillo existente
- 2. Chapa de aluminio plegada sobre la impermeabilización.
- 3. Aislante térmico de lana mineral
- 4. Cerradura
- 5. Perfil de acero lacado 41/5 mm.
- 6. Tubo de acero 100/30/4 mm.
- 7. Puerta: bastidor continuo de acero
- 8. Vidrio templado 10 mm. esmaltado en negro en la cara posterior y cámara de aire de 45 mm. U=5,6 W/m²K.
- 9. Marco de la carpintería existente
- 10. Sistema de suelo radiante con aislamiento térmico e=11mm.
- 11. Chapa de aluminio plegada e=2mm.
- 12. Angular de acero galvanizado
- 13. Rejilla
- 14. Pletilla de acero 5mm. Fijación oculta.
- 15. Sellado de silicona negra
- 16. Carpintería de aluminio sin rpt.
- 17. Acristalamiento con cámara de vidrio templado 12mm/12/vidrio templado 10. U=2.8 W/m²K.
- 18. Costilla de refuerzo
- 19. Chapa de aluminio lacado
- 20. Perfil de acero HEB 120 mm.
- 21. Tirador.

Fuente: (DETAIL 2010)



Esta propuesta permite no intervenir sobre el hueco y la fachada original pues todo el trabajo se realiza en una capa exterior a la del muro. En este proyecto, ocurre como en los dos proyectos anteriores y no se interviene en el resto de la envolvente del edificio con el objeto de mantener la configuración del edificio original. Sin embargo, el muro de 40 cm de fábrica, aporta un aislamiento considerable $U=1,5 \text{ W/m}^2\text{K}$. Por ello, en los encuentros de esta solución con la hoja de fábrica, aparecerán puentes térmicos¹².

Recurriendo a la normativa, vemos que el acristalamiento propuesto tiene una U igual a $2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$ en la parte acristalada transparente y una $U=5,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ en la zona de la puerta. Esta segunda U no tendría sentido calcularla como un cerramiento normal debido a que, tras este cristal, existe una cámara de aire de 45 mm y una puerta opaca con un material aislante en su interior que no conocemos y que, por tanto, no podemos cuantificar. Por todo ello, centraremos el cumplimiento o no de la normativa en los acristalamientos transparentes.

Conociendo que una carpintería de aluminio sin rotura de puente térmico tiene una U aproximadamente de, $5,7\text{W/m}^2\text{k}$. Calculamos la U total de la ventana:

$$U_T = U_M \times FM + U_H \times (1-FM)$$

Sabiendo que el factor de marco es el 10 % de la ocupación total de la ventana tendremos una U final de:

$$U_T = 5,7 \times 0,1 + 2,8 \times (1-0.1)$$

$$U_T = 3,09 < 3,00 \text{ W/m}^2\text{k}. \quad \text{NO CUMPLE}$$

En caso de que no se consideraran las puertas de estos acristalamientos, el porcentaje de huecos en la fachada sería inferior al 51% y por tanto, la transmitancia térmica máxima sería de $3,1\text{W/m}^2\text{k}$.

$$U_T = 3,09 < 3,10 \text{ W/m}^2\text{k}. \quad \text{CUMPLIRIA}$$

Resulta curioso que, de nuevo, pese a que no se tengan en cuenta los mínimos de estanqueidad para los muros, se siga cumpliendo la transmitancia térmica máxima de los huecos. Esto probablemente se deba a que, la normativa, tanto en Holanda como en España, sea permisible cuando se trata de rehabilitaciones de edificios de carácter histórico, pero al plantear añadir en ellos algún elemento nuevo, este deberá cumplir con la normativa sin excepción.

4.4.2 APROVECHAMIENTO DE LA INCIDENCIA SOLAR DIRECTA Y CUMPLIMIENTO DEL FACTOR SOLAR MODIFICADO MÁXIMO

Superponemos los datos climáticos de Veenhuizen en la carta bioclimática de Givoni para calcular las necesidades térmicas de nuestro edificio. [Fig. 100].

¹² Pese a que no se trate de un puente térmico como tal (pues la fachada no dispone ningún tipo de material aislante), se considera que en el encuentro entre el muro preexistente de fábrica y la nueva caja de vidrio las filtraciones son más fáciles y rápidas.

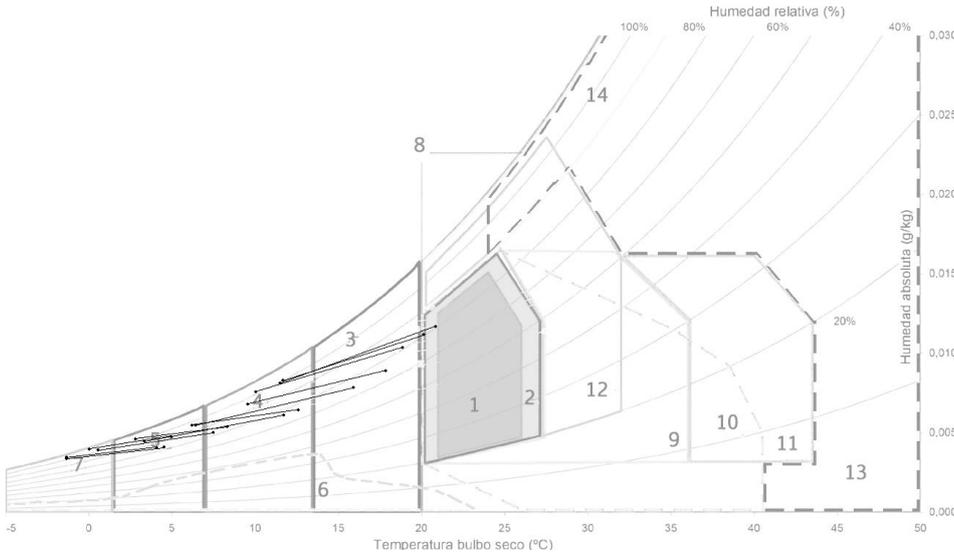


Fig. [100] – Carta bioclimática de Givoni con los datos climáticos de Veenhuizen. Fuente: Elaboración propia

De esta gráfica concluimos que:

- Hay que aprovechar todas las horas de incidencia solar posibles durante todos los meses del año pues tan solo se entra en la zona de confort permisible para las horas más calurosas de los días de julio.
- Únicamente se podrá alcanzar el confort térmico mediante captación solar (directa e indirecta) y la propia carga interna para los meses de mayo a octubre. Para los meses más fríos, será necesario recurrir a la calefacción tradicional.



Fig. [102] – Esquema en el que se aprecia el ángulo máximo que podrá tener el Sol con respecto a la horizontal para incidir en la ventana (α) y el ángulo máximo del Sol para cada fecha estudiada (β). Se toma de referencia el punto central de la ventana. Fuente: Elaboración propia

Para comprobar si es posible la captación energética solar, utilizamos los datos aportados por la aplicación “Sunearthtools” y realizamos una tabla [Fig. 101] teniendo en cuenta los obstáculos que impiden la incidencia solar directa [Fig. 102, 103 y 104].

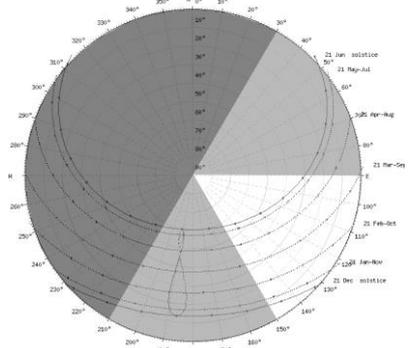


Fig. [103] – Carta solar esférica de Veenhuizen. Esta representación nos permite apreciar el rango de recorrido del Sol que nos interesa para la captación energética. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

Día del año	Ángulo vertical máximo (β)	Intervalo de ángulo vertical de incidencia (α-β)	Franja horaria de incidencia aprovechable ¹³	Nº de horas totales
21 Dc	14º	14º-14º	-	0 h
21 En-21 Nv	17º	14º-17º	-	0 h
21 Fb-21 Oc	26º	14º-26º	9:00-10:30	1:30 h
21 Mz-21 Sp	38º	14º-38º	8:00-10:50	2:50 h
21 Ab-21 Ag	49º	14º-49º	7:15-11:15	4:00 h
21 My-21 Jl	57º	14º-57º	7:50-11:30	3:40 h
21 Jn	60º	14º-60º	7:55-11:25	3:30 h

Fig [101] - Tabla de los datos de soleamiento en los huecos de la planta tercera en la fachada sureste.. Fuente: elaboración propia a partir de los datos obtenidos en la aplicación “Sunearthtools”

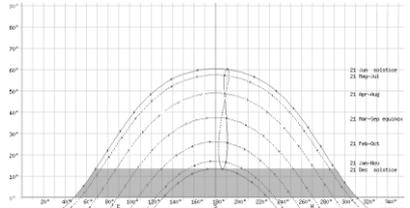


Fig. [104] – Carta solar cilíndrica de Veenhuizen. Esta representación nos permite apreciar la altura del Sol que no queda bloqueada. Fuente: elaboración propia a partir de sunearthtools

¹³ La franja horaria de incidencia aprovechable se ha definido con los valores que coinciden en el intervalo de azimut entre 205 y 265 (carta solar en planta) y el intervalo de ángulo vertical de incidencia (carta solar cilíndrica). [Fig. 103 y 104].



Fig. [105] - Interior del volumen de estudio bañado por la luz procedente de todas las ventanas. El color blanco utilizado para todos los acabados ayuda en esta gran iluminación. Fuente: www.tectonicablog.com

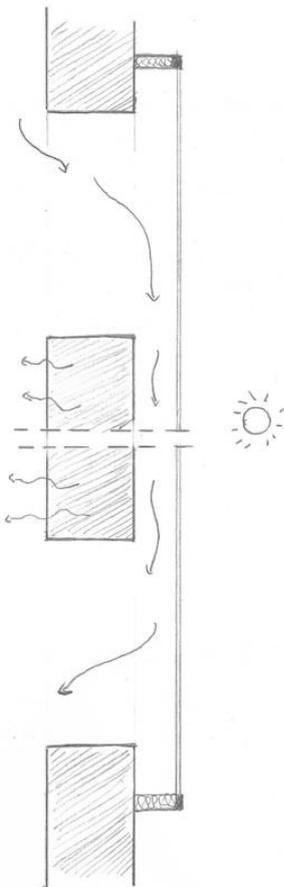


Fig. [106] - Esquema en planta de los cerreamientos planteados. Esta simple estrategia permite aprovechar la incidencia solar directa, permite circular el aire por la cámara para calentarlo y repartirlo al interior y, por último, permite almacenar calor en los muros de fábrica, actuando como un muro trombé. Fuente: Elaboración propia.

Multiplicando el número de horas totales de incidencia solar por el número de días despejados y por el número de días parcialmente nublado/2 calculamos el número total de horas incidentes cada mes. Obteniendo, por ejemplo, para el mes de octubre, que se necesita de captación solar, un total de 54h y 15, min un número muy considerable de horas para plantear la posibilidad de la captación energética. Estos datos permitirían poder prescindir de la calefacción para los meses más cálidos.

Con esto concluimos que, la estrategia de captación solar, podrá tener muy buenos resultados a excepción de los meses de enero noviembre y diciembre en los que el edificio no recibe incidencia solar directa.

Conociendo todos estos datos, se procede al cálculo del factor solar modificado a partir de la fórmula:

$$F_{Hlim} = F_s \times [(1 - FM) \times g^{\perp} + FM \times 0.04 \times U_m \times a]$$

Consideraremos que el $F_s = 1$ (no existe ningún obstáculo), que $g^{\perp} = 0.52$ (valor aproximado al tratarse de un doble acristalamiento con uno de los vidrios tintado 12/12/10) y que $a = 0.95$ (al tratarse de un premarco negro) con lo que tendremos

$$F_{Hlim} = 1 \times [(1 - 0,10) \times 0,52 + 0,10 \times 0,04 \times 5,7 \times 0,95]$$

$$F_{Hlim} = 0.489 > 0.43 \quad \text{NO CUMPLE}$$

De nuevo, si se considerara que las puertas opacas no entran dentro del cálculo del porcentaje de acristalamiento en fachada, la exigencia sería de 0.49 y cumpliría.

$$F_{Hlim} = 0.489 < 0.49 \quad \text{CUMPLIRIA}$$

4.4.3 OTROS ASPECTOS

No se dispone de la especificación concreta en cuanto a la permeabilidad de las carpinterías. Estas deberían cumplir con un índice menor de 27 m³/hm².

En lo referente a la iluminación, el gran cuerpo se entiende como una gran sala diáfana en la que todas las ventanas vuelcan su luz y, como vemos en las imágenes, se crea un espacio suficientemente iluminado gracias, también, al color blanco utilizado en todo el interior [Fig. 105].

Otro aspecto de especial interés serán las posibilidades térmicas que se brindan con este planteamiento. La configuración de la ventana con un vidrio enfrentado a los ladrillos del antiguo edificio, recuerda a la composición de un muro trombé. Si se plantease que estos elementos funcionaran como tal, se conseguiría una captación solar directa por la mañana para el acondicionamiento pasivo del interior y, por la tarde, con el calor acumulado en dichos muros, se conservaría la temperatura hasta la hora de cierre del museo. Pese a este interesante planteamiento, al tratarse de muros de fábrica, no se dispone de la masa suficiente como para calefactar un edificio de este tamaño. Sin embargo, sí que podrían actuar como pequeños colectores de calor haciendo circular al aire mecánicamente por el interior de la cámara e introduciéndolo al interior [Fig. 106].

Por último, apuntar que si se pudiese considerar como muro trombé, tendría una regulación en cuanto a transmitancia térmica menor que un

acristalamiento convencional. De manera que cumpliría la normativa incluso con más de un 50% de huecos en la fachada.

4.4.4 CONCLUSIONES DEL CASO DE ESTUDIO

De nuevo, como hemos apuntado en los proyectos anteriores, esta obra vuelve a ser el paradigma de como acometer una intervención a partir de un cuidadoso detalle constructivo.

Pese a que los acristalamientos no cumplan con los mínimos exigidos en cuanto a estanqueidad y factor solar modificado, se propone una solución con un gran abanico de posibilidades térmicas. Además, se separa del edificio original y lo deja intacto. Un elemento muy simple que aparece como una nueva capa que se distancia claramente del edificio en cuestión.

Esta nueva capa se reafirma como elemento perteneciente a otra época para permitir percibir con mayor facilidad los volúmenes originales del antiguo complejo (máxima tomada por el arquitecto en la toma de decisiones a lo largo del proyecto).

De esta forma, estamos ante un pensamiento totalmente diferente al propuesto por Balbás, que defendía intervenciones que no robaran el protagonismo del edificio intervenido utilizando un lenguaje neutro. Y es, precisamente aquí, donde toma fuerza la idea propuesta, pues al utilizar un lenguaje tan diferente y abstracto consigue encontrar una solución que dialoga con el viejo complejo.

Finalmente, al ser elementos tan constructivamente separados, también podemos argumentar desde la idea de Ignacio Paricio de la evolución constante de la arquitectura. En cualquier momento que se quisiese, se podrían eliminar estas vitrinas para poder dar cabida a otro planteamiento.

En resumen, una rehabilitación cuyo éxito radica en su simpleza y que, pese a que no fuera planteado por los arquitectos, la solución tomada para los huecos alberga unas posibilidades de captación energética admirables. Será pues una estrategia a tener en cuenta en este tipo de intervenciones.

5 CONCLUSIONES

El presente trabajo, partiendo de los problemas ecológicos a los que se va a tener que enfrentar la arquitectura en el siglo XXI, toma la rehabilitación energética como posible solución y la extrapola a edificios con cierto valor patrimonial. Dicha rehabilitación se centrará en un único elemento: el hueco, pues se considera el punto con mayor potencial energético dentro de la envolvente y, a su vez, el elemento que menos inversión e intervención en la fachada original requiere.

Tras realizar un estudio compositivo, histórico y técnico de los huecos y tras analizar las exigencias mínimas impuestas por el DB-HE se llega a unas conclusiones que se tendrán que compaginar con las limitaciones que imponen las intervenciones en edificios históricos.

Para valorar estas limitaciones, se recurre a diversos arquitectos referentes en la rehabilitación de monumentos preexistentes y se toman como punto de partida diversas estrategias que parecen comunes entre ellos. Como son:

- La necesidad de un estudio previo del edificio a intervenir para conocer o decidir las estrategias adecuadas.
- La importancia del detalle constructivo.
- La importancia del lenguaje utilizado en función al objetivo buscado.

Por último, se estudia a arquitectos referentes en la rehabilitación energética y se aplica su metodología a los casos de estudio. Obteniendo las siguientes conclusiones:

OBRA	Dusseldorf	Barcelona	Palencia	Veenhuizen
Cumple el mínimo aislamiento	SI	NO	SI	NO*
Tratamiento envolvente	SI	NO	NO	NO
Existen puentes térmicos	NO	NO	NO	SI*
Cumple el máximo factor solar mod.	SI	SI	SI	NO
Necesidad captación energética	SI	SI	SI	SI
Posibilidad captación energética	NO	NO	SI	SI
Éxito de la captación energética	-	-	NO	SI
Necesidad protección solar	NO*	SI	NO*	NO
Éxito protección solar	-	NO*	-	-
Iluminación natural suficiente	SI	SI	SI	SI
Posibilidad de ventilación natural	SI	SI	NO	NO
Otras estrategias de captación energética	NO	NO	NO	SI

*Los datos marcados hacen referencia a que en los casos de estudio se ha aportado información complementaria

Fig. [107] – Tabla de datos. Fuente: Elaboración propia.

Estos valores demuestran las posibilidades que da la normativa en lo que se refiere a rehabilitaciones de edificios históricos. Y, además, permiten mostrar si los arquitectos buscaban la rehabilitación energética o si, las soluciones que tomaron, atienden a otras necesidades o preferencias totalmente distintas.

¿No debería una rehabilitación enfocada a la funcionalidad y al adecuamiento del edificio a las necesidades contemporáneas cumplir con estos valores energéticos mínimos? ¿No existen los materiales y las técnicas suficientes para llevarlo a cabo?

Desde una perspectiva más personal y utilizando las estrategias comunes tomadas por los arquitectos estudiados, se obtienen las siguientes conclusiones.

- La necesidad de un estudio previo para saber qué estrategia tomar desde el punto de vista de la conservación del patrimonio será de vital importancia. Pues, cabe la posibilidad de que nuestra intervención, sea la que convierta dicho edificio histórico en un elemento de gran valor como consigue Carlo Scarpa en Castelvecchio. Estrategia similar a la tomada por Octavio Mestre en la clínica Guma Olive y por el estudio Mid en el museo del agua de Palencia en la que los arquitectos pretenden dotar de un valor extra al edificio rehabilitado. Por otro lado, en los dos proyectos internacionales, se toma el edificio original como elemento a “revivir”.
- La importancia del detalle constructivo como apuntaban los arquitectos tratados como Zumthor o Linazasoro. Es en este apartado, donde la eficiencia energética y el adecuamiento del planteamiento a las necesidades proyectuales del edificio histórico, pueden compaginarse. Ejemplo de ello son todos los proyectos estudiados, sobre todo, la escuela de Dusseldorf y el museo de Veenhuizen.

La escuela de Dusseldorf ofrece una solución de una gran estanqueidad sin puentes térmicos necesaria para un emplazamiento con temperaturas muy bajas en el que la captación energética solar no es una posibilidad. Todo ello con un sistema contemporáneo de fachada ventilada que imita el despiece, la austeridad y la sencillez del edificio original.

Por otro lado, el museo de Veenhuizen, pese a no replantear la envolvente del antiguo edificio, ofrece unas posibilidades de captación energética (incidencia solar directa, cámara invernadero y muro trombé) admirables mediante una estrategia que, utilizando un lenguaje distinto al de la vieja herrería, crea un dialogo y se reafirma en su posición de elemento perteneciente a otro periodo histórico.

- Y, por último, la creciente importancia de plantear la arquitectura como un concepto en constante cambio como introduce Ignacio Paricio en su estudio de la ventana

perfectible. Plantear que nuestros proyectos puedan ser intervenidos en un futuro y facilitar así su reciclaje.

Esta idea entra en consonancia con las nuevas estrategias contrarias al “usar y tirar” que, pese a sus ventajas económicas, supone un problema ecológico grave.

Probablemente se necesite investigar más en este campo antes de dar unas soluciones precipitadas pero, desde una óptica más personal, puede que la arquitectura efímera o retornable¹⁴ sea una de las posibles soluciones.

En los casos de estudio, el tratamiento que se da en los huecos en el museo del agua de Palencia, la clínica Olivé Guma y el museo en Veenhuizen, se recoge esta idea de posibilitar el reciclaje mediante un elemento retornable pues, se trata de unas cajas/vitrinas que se insertan en el hueco o se apoyan sobre el muro dejando intacta la configuración original y por tanto, siendo fácilmente sustituibles.

Para terminar. Recogemos la idea del arquitecto Torres Balbás de que los monumentos históricos nacen, viven y se transforman, mostrando las inquietudes que reinaban en la arquitectura en cada momento en que dicho monumento es intervenido. ¿Por qué una rehabilitación energética centrada en el hueco no puede añadir valor al viejo edificio? ¿Y qué mejor forma de representar las inquietudes de la arquitectura del siglo XXI que con el creciente deseo de que nuestras obras participen en la nueva mentalidad ecológica?

¹⁴ Concepto creado para referirnos a aquella arquitectura planteada con miras a ser fácilmente sustituida o replanteada en un futuro

BIBLIOGRAFÍA

- Azpilicueta, Enrique. «Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía.» *Tectónica*, 1995: 6-31.
- Azpilicueta, Enrique. «Rehabilitación energética de edificios existentes.» *Tectónica*, 1995.
- Balbás, Leopoldo Torres. «La restauración de los monumentos antiguos.» *Arquitectura*, 1918.
- Barrios Padura, Angela, Emilio González Villegas, José Carlos Mariñas Luis, y Marta Molina Huelva. *{Re} Programa: (Re) habitación+(Re) generación)+(Re) programación. El reciclaje y la gestión sostenible del parque edificado andaluz. Gestión de entornos habitables desde criterios de envejecimiento activo, género y habitabilidad urbana*. Sevilla, 2015.
- Blázquez de Pineda, Teresa, Rocío Escandón Ramírez, Jéssica Fernández-Agüero Escudero, Ángel León Rodríguez, Jesús León Rodríguez, y Juan José Sendra Salas. «Buenas prácticas ambientales y de eficiencia energética.» En *Intervención en barriadas residenciales obsoletas. Manual de buenas prácticas*, de Carlos García Vázquez, & Elisa Valero Ramos, 149-184. Sevilla: Abada editores, 2016.
- Coombs, Tamara. «Scarpa's Castelvecchio: A Critical Rehabilitation [Speaking of Places].» *places-journal*, 1992.
- Cortés, Juan Antonio. «Conciliación de Contrarios: Formas.» *El Croquis 150*; 2010: 29-43.
- DB-HE. *Documento básico HE. Ahorro de energía*. España: Estado, Boletín Oficial del, 2013.
- Deplaces, Andrea. *Constructing architecture*. Berlín: Birkhäuser, 2005.
- DETAIL. *Centros escolares*. 2010.
- DETAIL, Revista de arquitectura. «Museo del Agua Palencia.» *Rehabilitación*, 2010.
- Elsdon, Laurence. «Tectonic theories and practices of David Chipperfield.» <https://cdn.studiolo.uk/architecture/theories-and-practices-of-david-chipperfield.pdf>, Abril de 2012.
- Giedion, Sigfried. *Espacio, tiempo y arquitectura*. Barcelona: Reverté, 1941.

Herzog, y deMeuron. 2013. <https://www.herzogdemeuron.com> (último acceso: 26 de 08 de 2017).

Kostof, Spiro. *Historia de la arquitectura, vol 1, vol 2 & vol 3*. Madrid: Alianza editorial, 1988-1998.

Lapuerta, Jose María de, y Fernando Altozano. *Vivienda, envolvente, hueco. Un catálogo de soluciones constructivas para la vivienda*. Barcelona: ACTAR, 2010.

Linazasoro, José Ignacio, entrevista de Daniel Dávila Romano Leonardo Tamargo Niebla. *Conversación con José Ignacio Linazasoro* (18 de enero de 2014).

Lira, Olimpia. «Armería en Park Avenue, por Herzog & De Meuron.» *Revista ARQ* (Universidad), 2014.

López-Mesa, Belinda, José Ignacio Palomero Cámara, Agustín Ortega Zapata, y Alejandro del Amo Sancho. «La rehabilitación y la mejora de la eficiencia energética de la vivienda social a examen.» *Monografías de la Revista Aragonesa de Administración pública*, 2013: 283-319.

Luxán, M. de, M. Vázquez, G. Gómez, E. Román, y M. Barbero. *Actuaciones con criterios de sostenibilidad de viviendas en el centro de Madrid*. Madrid, 2009.

Luxán, Margarita de, G. Gómez Muñoz, y E. Román López. «Cuentas energéticas no habituales en edificación residencial.» *Informes de la construcción*, 2014.

Mestre, Octavio. *Rehabilitation. Dealing with history*. Instituto Monsa de Ediciones, S.A, 2015.

Neila González, F. Javier, y César Bedoya Frutos. *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*. Madrid: Editorial Munilla-Lería, 1994.

Paricio, Ignacio. «El hueco en la fachada.» *Tectónica*, 1995: 4-21.

Paricio, Ignacio. *La piel ligera. Maduración de una técnica constructiva*. Barcelona: ACTAR, 2010.

Planeta, Enciclopedia. *Historia universal del arte. Tomos 2,4,5,7*. Barcelona: Planeta, 1991.

Puche, A. Ceresuela. *Rehabilitación ambiental con métodos tradicionales*. Madrid: COAM, 1985.

- Puppo, Ernesto, Giorgio Alberto Puppo, y Giancarlo Puppo. *Sol y diseño. Índice térmico relativo*. Barcelona: Marcombo, 1976.
- Revista Tectónica. *EL HUECO: El límite posible*. Madrid: ATC Ediciones, 1997.
- Revista tectónica. *Energía (1)*. Madrid: ATC Ediciones, 2000.
- Roldán, Luis Velasco. *El movimiento de aire condicionante del diseño arquitectónico*. Madrid: Ministerio de Fomento, 2011.
- Schittich, Christian. *Rehabilitación, reconversión, ampliación, reconcepción*. Berlín: Birkhauser, 2006.
- Smith, Peter F. *La arquitectura en un clima de cambio. Una guía para el diseño sostenible*. Barcelona: Reverté, 2001.

6.1 REFERENCIA DE IMÁGENES

- Fig. [1]. Giedion, S. (2009). *Espacio, tiempo y arquitectura*. Barcelona: Reverté.
- Fig. [2] https://es.wikipedia.org/wiki/Informe_Brundtland
- Fig. [3, 4] <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es>
- Fig. [5] Azpilicueta, (1995) *Hacia un óptimo energético. Instalaciones y energía* Revista Tectónica
- Fig. [6] <http://territorioveton.blogspot.com.es/2010/12/arquitectura-sin-arquitectos-i-la-casa.html>
- Fig. [7] <http://territorioveton.blogspot.com.es/2010/12/arquitectura-sin-arquitectos-i-la-casa.html>
- Fig. [8] Revista *temas de arquitectura 13: vivienda colectiva*. Valencia: General de ediciones de arquitectura
- Fig. [9] Roldán, L. V. (2011). *El movimiento de aire condicionante del diseño arquitectónico*. Madrid: Ministerio de Fomento.
- Fig. [10] Enciclopedia *Historia universal del arte tomos 2,4,5,7. (1991)* Barcelona: Planeta
- Fig. [11, 12, 13, 14, 15] Enciclopedia *Historia universal del arte, tomos 2, 4, 5, 7. (1991)* Barcelona: Planeta
- Fig. [16] Deplaces, A. (2005). *Constructing architecture*. Berlín: Birkhäuser.
- Fig. [17] <https://es.pinterest.com/pin/311029917997276701/visual-search/?x=16&y=16&w=530&h=671>
- Fig. [18, 19] Elaboración propia
- Fig. [20] Paricio, I. (1995). *El hueco en la fachada. Tectónica*.

Fig. [21] Revista *temas de arquitectura 13*: vivienda colectiva. Valencia: General de ediciones de arquitectura

Fig. [22] <http://www.certificadosenergeticos.com/repaso-vidrios-marcos-certificacion-energetica-inmuebles>

Fig. [23] Smith, Peter F. *La arquitectura en un clima de cambio. Una guía para el diseño sostenible*. Barcelona: Reverté, 2001.

Fig. [24] Neila González, F. J., & Bedoya Frutos, C. (1994). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

Fig. [25] Smith, Peter F. *La arquitectura en un clima de cambio. Una guía para el diseño sostenible*. Barcelona: Reverté, 2001.

Fig. [26] Elaboración propia

Fig. [27] Neila González, F. J., & Bedoya Frutos, C. (1994). *Técnicas arquitectónicas y constructivas de Acondicionamiento ambiental*. Madrid: Editorial Munilla-Lería.

Fig. [28] Elaboración propia

Fig. [29-32] (2013) *Documento Básico HE. Ahorro de energía*. España: Boletín Oficial del Estado

Fig. [33] <http://www.santasur.es/servicios/certificados-energeticos>

Fig. [34] <http://cubedesignresearch.com/2009/08/authenticity-scarpas-castelvecchio/>

Fig. [35] <http://cubedesignresearch.com/2009/08/authenticity-scarpas-castelvecchio/>

Fig. [36] <http://www.veneto.eu>

Fig. [37] Cortés, Juan Antonio. «Conciliación de Contrarios: Formas.» *El Croquis 150*; 2010: 29-43.

Fig. [38] <http://www.arcspace.com/features/atelier-peter-zumthor/kolumba-museum/>

Fig. [39] Elaboración propia

Fig. [40] <https://mdgaeetsaun.com/2016/01/28/climogramas>

Fig. [41,42] https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php

Fig. [43, 44, 45] Revista *Tectónica 33: Energía (1)* Madrid: ATC Ediciones.

Fig. [46] Elaboración propia

Fig. [47] Elaboración propia a partir de los datos de www.meteoblue.com, es.climate-data.org

Fig. [48] *Documento Básico HE. Ahorro de energía*. España: Boletín Oficial del Estado.

Fig. [49, 50] Revista *Detail 3 Centros escolares*: (2010).

Fig. [51] Elaboración propia.

Fig. [52, 53] https://www.sunearthtools.com/dp/tools/pos_sun.php

Fig [54] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [55] Elaboración propia.

Fig [56, 57] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [58, 59] Mestre, Octavio. *Rehabilitation. Dealing with history*. Instituto Monsa de Ediciones, S.A, 2015.

Fig. [60] Elaboración propia

Fig. [61] Elaboración propia a partir de los datos de www.meteoblue.com, es.climate-data.org

Fig. [62] *Documento Básico HE. Ahorro de energía*. España: Boletín Oficial del Estado.

Fig. [63, 64, 65] Facilitadas por el arquitecto Octavio Mestre

Fig. [66] Elaboración propia

Fig. [67] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [68] Elaboración propia

Fig. [69,70] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [71] Elaboración propia

Fig. [72, 73, 74] Facilitadas por el arquitecto Octavio Mestre

Fig. [75, 76, 77, 78]

<https://pasajesdsn.wordpress.com/2010/03/12/museo-del-agua-de-palencia-mid-estudio/>

Fig. [79] Elaboración propia

Fig. [80] Elaboración propia a partir de los datos de www.meteoblue.com, es.climate-data.org

Fig. [81] *Documento Básico HE. Ahorro de energía*. España: Boletín Oficial del Estado.

Fig. [82,83] DETAIL, Revista de arquitectura. «Museo del Agua Palencia.» *Rehabilitación*, 2010.

Fig. [84,85,86] Elaboración propia

Fig. [87,88] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [89,90] <https://pasajesdsn.wordpress.com/2010/03/12/museo-del-agua-de-palencia-mid-estudio/>

Fig. [91] Elaboración propia

Fig. [92,93,94]

http://www.tectonicablog.com/docs/tectonica_kempe_museo.pdf

Fig. [95] Elaboración propia

Fig. [96] Elaboración propia a partir de los datos de www.meteoblue.com, es.climate-data.org

Fig. [97] *Documento Básico HE. Ahorro de energía*. España: Boletín Oficial del Estado.

Fig. [98,99] DETAIL, Revista de arquitectura. «Museo y centro de exposiciones en Veenhuizen.» *Rehabilitación*, 2010.

Fig. [100] Elaboración propia

Fig. [101] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [102] Elaboración propia

Fig. [103,104] Elaboración propia a partir de los datos aportados por la aplicación “sunearthtools”

Fig. [105] http://www.tectonicablog.com/docs/tectonica_kempe_museo.pdf

Fig. [106] Elaboración propia

