

TESIS DOCTORAL

DIRECTRICES ENERGÉTICAS INTEGRALES EN EDIFICIOS DE OFICINAS TRANSPARENTES (TOBEE).

*Radiografía del edificio de oficinas actual para un clima
Mediterráneo.*

Jordi Pascual Pellicer

Doctorando

Nuria Garrido Soriano

Tutora y Directora

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE BARCELONA

Departament de Màquines i motors tèrmics

Programa de Doctorat de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

Barcelona a Juny de 2015

Agradecimientos

En los últimos años el desarrollo de la Tesis ha sobrevolado distintos ámbitos de mi vida, poblados por personas que, de alguna u otra forma, también han participado en la misma; es el momento de, al menos, reconocerlos y agradecerles el haberme acompañado en el camino.

En primera instancia, quiero agradecer a mis directores de Tesis por su infinita paciencia que han ejercido sobradamente en estos años. A Jaume Cendra, que no solo me abrió las puertas de este mundo, si no que me transmitió su ilusión y su mirada crítica, que me han acompañado más allá de su jubilación. También a Nuria Garrido que aceptó el guante de dar continuidad a la dirección, y que ha creado un contexto agradable y ha seguido mi ritmo sin dejar de apremiarme en mis idas y venidas.

Parte relevante de la Tesis ha sido posible gracias al desarrollo de distintos trabajos relacionados con la misma. Las otras personas que han participado en estos, han aportado conocimientos y, sobretodo, distintas miradas que han ampliado las vistas del conjunto. En concreto, quiero agradecer al equipo de ALIA Arquitectura y Medioambiente, y particularmente a Emilio Miguel Mitre y Carlos Expósito que, con sus conocimientos y su curiosidad han permitido aterrizar el análisis teórico a la realidad del sector a pié de calle. También a Beatriz Tena, de El Consorci de la Zona Franca, por sus aportaciones en el conocimiento del comportamiento real de los edificios que conforman los datos de campo. Igualmente a Daniel Pérez, de CIMNE, que con su experiencia en monitorización de espacios, permitió avanzar de la forma más fiable posible en estos casos.

En este contexto, de forma muy especial a mis compañeros de AIGUASOL. Muchos de ellos han participado, con conocimientos pero sobre todo con sus ánimos, en el desarrollo de la Tesis y de los proyectos relacionados con la misma. En concreto, quiero agradecer a Jaume Salom por haber ayudado a sembrar las bases del trabajo. También a Maria Casanova que, con su curiosidad, conocimiento y, sobretodo, infinita paciencia en aguantar mis detallismos, ha contribuido a que los resultados finales sean los que son.

Aunque no formen parte directa del caso de estudio de la Tesis, a todos aquellos que han colaborado en los proyectos derivados de la misma, por haber ayudado a ampliar el conocimiento y, con ello, a interpretar los resultados de forma más rica. En concreto, y para el proyecto de continuidad Tobeem, a Luis Irastorza y Jesús Arellano de DUCH, por su confianza y sus observaciones detallistas. A Carlos Expósito, de nuevo, y Jesús Tejedor y Luís Marqués por sus aportaciones del mundo de la arquitectura en general, y su ilusión en el conocimiento en particular. Y a mis compañeros Maria Casanova, Damien Tavan, Òscar Cámara, Àngel Carrera i Oriol Gavaldà que han estado ahí, no solo aportando en lo conocido, si no imaginando en lo desconocido.

Finalmente, a todos aquellos que me han animado y/o soportado en este largo camino por el tiempo robado y las ilusiones tomadas. A mis padres, Pere i Eulàlia, que han ejercido de paraguas, una vez más, en esta nueva aventura. A mis hijas, Lua i Júlia, que han sufrido y respetado mi lento deambular en estos años. Y a mi compañera, Laura, que no solo ha sobrecargado con la logística familiar para facilitarme espacios, si no que me ha animado en los momentos en que el camino se alargaba. Todos ellos me han aportado más de lo que pudiera escribir en estas líneas.

“Nuestro conocimiento es necesariamente finito, mientras que nuestra ignorancia es necesariamente infinita.”

Karl Popper

“El conocimiento si no se sabe aplicar es peor que la ignorancia.”

Charles Bukowski

Resumen

El objetivo principal de la presente Tesis es determinar el comportamiento y la viabilidad energética, económica y de confort en edificios de oficinas, específicamente para soluciones con elevadas proporciones de hueco en piel y en clima Mediterráneo. Se pretende, en última instancia, contribuir a la reducción del consumo energético de los edificios de uso terciario oficinas, ofreciendo directrices claras para los distintos actores que participan en el ciclo de vida de los edificios, en especial los propietarios, los proyectistas y las autoridades competentes en la redacción de normativas específicas del sector.

Análogamente a lo que ocurre en otras latitudes, el sector de los edificios de oficinas representa el segundo uso en superficie construida, y le corresponde una intensidad energética promedio significativamente superior al sector residencial. El sector se caracteriza por un modelo de negocio de continuidad entre actores, en el que en los últimos años se ha empezado a valorar significativamente el vector medioambiental en la obra nueva. Sin embargo todo lo anterior choca con una realidad caracterizada por un parque edificatorio obsoleto, y un desconocimiento profundo del comportamiento energético, económico y de condiciones de confort que dificulta revertir la situación actual. Esto es más relevante en un contexto en que, por distintos motivos, en los últimos lustros ha predominado la construcción de edificios de oficinas de elevadas proporciones de hueco en fachada. Esta Tesis pretende paliar este desconocimiento con herramientas que permiten valorar, de forma comparada, algunas de las soluciones constructivas más comunes del sector, y determinar los elementos clave que condicionan la factura energética de los edificios.

Así, en condiciones consideradas de carácter normativo y en clima Mediterráneo, los edificios de oficinas con soluciones estructuralmente pesadas y fachadas más opacas resultan en consumos de energía primaria más reducidos y costes, tanto en inversión como en vida útil, inferiores respecto a casos de estructuras más ligeras y mayor

proporción de huecos en fachadas, bajo unas condiciones de confort más difíciles de alcanzar en estos últimos. Aunque se constata la existencia de algunos diseños transparentes (doble piel operada) que consiguen unas demandas energéticas equivalentes a las de las soluciones opacas, esto es a costa de unas inversiones y costes de vida útil mayores. Estas directrices se mantienen aún cuando se plantean escenarios de mejora que, a pesar de reducir la demanda energética, lo hacen de forma proporcional a las distintas soluciones constructivas. De esta forma, y considerando que los distintos límites impuestos en el análisis de escenarios de la Tesis tienden a acotar estas directrices observadas, se concluye que los edificios de oficinas transparentes son ineficientes, tanto energética como económicamente.

Aunque la finalidad de la Tesis es demostrativa para los distintos actores, y por ello se muestran formatos de visualización de resultados de fácil comprensión, en el procedimiento desarrollado destaca la relevancia de los datos de campo y el potencial del uso de herramientas de simulación acopladas. El comportamiento real de este tipo de construcciones arroja consumos claramente superiores a los asociados a sus condiciones de uso normativas, por lo que se cree relevante el análisis de sensibilidad de estos condicionantes en el diseño de edificios de este uso (más en las soluciones más susceptibles al entorno, como las de elevada proporción de huecos). Por su parte, el uso acoplado de herramientas de simulación dinámica permite la constatación de fenómenos que afectan al confort, térmico pero sobre todo lumínico, de estas soluciones.

Aunque los resultados y las directrices obtenidas son específicas para edificios de oficinas en un entorno Mediterráneo, se han observado las mismas tendencias en otras latitudes (como en Madrid, a través de un estudio posterior más amplio del propio Doctorando, <http://aiguasol.coop/2014/02/17/proyecto-tobeem/>).

Mejorar el comportamiento de los edificios de oficinas depende de los distintos actores involucrados en su ciclo de vida. En primera instancia, de la administración competente, mediante el diseño de normativas específicas del sector y la consideración en las mismas

de datos reales que permitan verificar la calidad de la construcción y el comportamiento real de los edificios. De los propietarios y promotores, incluyendo el vector energético en las prioridades de su modelo de negocio. De los proyectistas, planteando soluciones orientadas y ejecutables con garantías. Y, en última instancia, de los inquilinos, en base a un uso responsable de las instalaciones. Todo ello resulta más viable en edificios con menor proporción de huecos y de estructura más inercial.

Resum

L'objectiu principal de la present Tesi és determinar el comportament i la viabilitat energètica, econòmica i de confort en edificis d'oficines, específicament per a solucions amb elevades proporcions de forat en pell i en clima Mediterrani. Es cerca, en darrera instància, contribuir a la reducció del consum energètic dels edificis d'ús terciari oficines, oferint directrius clares per als diferents actors que participen en el cicle de vida dels edificis, especialment els propietaris, els projectistes i les autoritats competents en la redacció de normatives específiques del sector.

Anàlogament al que passa en d'altres latituds, el sector dels edificis d'oficines representa el segon ús en superfície construïda, i li correspon una intensitat energètica mitjana significativament superior al sector residencial. El sector es caracteritza per un model de negoci de continuïtat entre actors, en el qual en els últims anys s'ha començat a valorar significativament el vector mediambiental en l'obra nova. No obstant això tot l'anterior xoca amb una realitat caracteritzada per un parc edificatori obsolet, i un desconeixement profund del comportament energètic, econòmic i de condicions de confort que dificulta revertir la situació actual. Això és més rellevant en un context en què, per diferents motius, en els últims lustres ha predominat la construcció d'edificis d'oficines d'elevades proporcions de forat en façana. Aquesta Tesi cerca pal·liar aquest desconeixement amb eines que permeten valorar, de manera comparada, algunes de les solucions constructives més comuns del sector, i determinar els elements clau que condicionen la factura energètica dels edificis.

Així, en condicions considerades de caràcter normatiu i en clima Mediterrani, els edificis d'oficines amb solucions estructuralment pesades i façanes més opaques resulten en consums d'energia primària més reduïts i costos, tant en inversió com en vida útil, inferiors respecte a casos d'estructures més lleugeres i major proporció de forats en façanes, sota unes condicions de confort més difícils d'aconseguir en aquests últims. Tot i que es constata l'existència d'alguns dissenys transparents (doble pell operada) que

aconsegueixen unes demandes energètiques equivalents a les de les solucions opaques, això és a costa d'unes inversions i costos de vida útil grans. Aquestes directrius es mantenen tot i que es plantegen escenaris de millora que, tot i reduir la demanda energètica, ho fan de forma proporcional a les diferents solucions constructives. D'aquesta manera, i considerant que els diferents límits imposats en l'anàlisi d'escenaris de la Tesi tendeixen a delimitar aquestes directrius observades, es conclou que els edificis d'oficines transparents són ineficients, tant energètica com econòmicament.

Tot i que la finalitat de la Tesi és demostrativa per als diferents actors, i per això es mostren formats de visualització de resultats de fàcil comprensió, en el procediment desenvolupat destaca la rellevància de les dades de camp i el potencial de l'ús d'eines de simulació acoblades. El comportament real d'aquest tipus de construccions deriva en consums clarament superiors als associats a les seves condicions d'ús normatives, per la qual cosa es creu rellevant l'anàlisi de sensibilitat d'aquests condicionants en el disseny d'edificis d'aquest ús (més en les solucions més susceptibles a l'entorn, com les d'elevada proporció de forats). Per la seva banda, l'ús acoblat d'eines de simulació dinàmica permet la constatació de fenòmens que afecten el confort, tèrmic però sobretot lumínic, d'aquestes solucions.

Tot i que els resultats i les directrius obtingudes són específiques per a edificis d'oficines en un entorn Mediterrani, s'han observat les mateixes tendències en altres latituds (com a Madrid, a través d'un estudi posterior més ampli del propi Doctorand, <http://AIGUASOL.coop/2014/02/17/proyecto-tobeem/>).

Millorar el comportament dels edificis d'oficines depèn dels diferents actors involucrats en el seu cicle de vida. En primera instància, de l'administració competent, mitjançant el disseny de normatives específiques del sector i la consideració en les mateixes de dades reals que permetin verificar la qualitat de la construcció i el comportament real dels edificis. Dels propietaris i promotors, incloent el vector energètic en les prioritats del seu model de negoci. Dels projectistes, plantejant solucions orientades i executables amb

garanties. I, en darrera instància, dels inquilins, en base a un ús responsable de les instal·lacions. Tot això resulta més viable en edificis amb menor proporció de forats i d'estructura més inercial.

Abstract

The main objective of this Thesis is to determine the behaviour, the energetic and economic feasibility, and the comfort conditions in office buildings, specifically for solutions with high proportions of glazing on facades and for Mediterranean climate. Ultimately, it is to contribute to the reduction of energy consumption of buildings for tertiary use offices, providing clear guidelines for the different actors involved in the life cycle of buildings, especially the owners, designers and the competent authorities in drafting specific sector regulations.

Similarly to what happens in other latitudes, the office buildings is the second use in constructed area, and it is up an average energy intensity significantly above the residential sector. The sector is characterized by a business model of continuity between actors, which in recent years has begun to assess the environmental vector significantly in the new constructions. Yet all this clashes with a reality characterized by an out-dated building stock, and a profound lack of knowledge related to the energy, economy and comfort conditions which difficult to reverse the current situation. This is more relevant in a context in which, for various reasons, in recent decades has dominated the construction of glazing office buildings. This Thesis aims to overcome this ignorance with tools to assess, in a comparative way, some of the most common office building solutions, and determine the key elements that determine the energy bill of those constructions.

Thus, in regulation conditions and Mediterranean climate, office buildings with heavy structural solutions and more opaque facades result in lower consumption of primary energy and costs, both in investment and in life cycle, lower than for cases of lighter structures with larger proportion of glazing in facades, which derives extra difficulties to achieves de desired comfort conditions. Although notes the existence of some transparent designs (operated double skin) getting equivalent energy demands to those of opaque

solutions, this is at the expense of a higher investment and operational life costs. These guidelines are valid even for improved scenarios in which, despite reducing the energy demand, the results become proportional to the different construction solutions. Thus, considering that the different limits designed for the scenario's analysis of the Thesis tend to narrow these guidelines, it's concluded that the transparent office buildings are inefficient, both energy and economically.

Although the aim of the thesis is demonstrative for the different actors, and therefore the display formats of results are considered for easily understanding, the procedure developed highlights the relevance of the field data and the potential of using coupled simulation tools. The current behaviour of this type of construction sheds consumption clearly superior to those associated with their regulations conditions of use, so the sensitivity analysis of these factors are believed important in the design of buildings for this purpose (more on solutions deeply susceptible to the environment, such as the glazed facades). For its part, the coupled use of dynamic simulation tools allows the observation of phenomena that affect comfort, thermal but especially luminous.

Although the results obtained are specific guidelines for office buildings in a Mediterranean environment, the same trends have been observed elsewhere (as in Madrid, through a broader PhD own subsequent study, <http://Aiguasol.coop/2014/02/17/project-to-beem/>).

Improve the performance of office buildings depends on the different actors involved in its life cycle. In the first instance, of the competent authority, by designing specific sector regulations and consideration on the same of real data to verify the quality of construction and the real behaviour of buildings. Of the owners and promoters, including the energy vector in the priorities of its business model. Of the designers, raising oriented and

enforceable guarantees solutions. And, ultimately, of the users, based on a responsible use of the facilities. All this is more feasible in more opaque buildings with higher inertia.

Sumario

| | |
|---|------------|
| CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN | 4 |
| CAPÍTULO 1.1. ANTECEDENTES, RELEVANCIA Y MOTIVACIÓN | 1 |
| CAPÍTULO 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| CAPÍTULO 1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS..... | 6 |
| 1.3.1. <i>Objetivo principal</i> | 6 |
| 1.3.2. <i>Objetivos secundarios</i> | 7 |
| 1.3.3. <i>Actores objetivo</i> | 8 |
| CAPÍTULO 1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO | 10 |
| CAPÍTULO 1.5. ESTRUCTURACIÓN DE LA MEMORIA | 16 |
| CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE..... | 18 |
| CAPÍTULO 2.1. ENERGÍA Y EDIFICACIÓN..... | 20 |
| CAPÍTULO 2.2. SOSTENIBILIDAD EN EL DISEÑO Y USO DE LOS EDIFICIOS..... | 27 |
| 2.2.1. <i>La concepción sostenibilista</i> | 27 |
| 2.2.2. <i>Transversalidad y participación en procedimientos de edificación sostenible</i> | 34 |
| 2.2.3. <i>El marco sostenibilista de la Tesis</i> | 39 |
| CAPÍTULO 2.3. EL EDIFICIO SISTEMA | 40 |
| 2.3.1. <i>Conceptos genéricos</i> | 40 |
| 2.3.2. <i>El edificio como sistema</i> | 41 |
| 2.3.3. <i>El entorno del edificio</i> | 43 |
| 2.3.4. <i>La tecnología de los edificios</i> | 51 |
| CAPÍTULO 2.4. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS | 54 |
| CAPÍTULO 2.5. MODELOS PREDICTIVOS DE USO Y GESTIÓN DE LOS EDIFICIOS | 62 |
| CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA | 67 |
| CAPÍTULO 3.1. FASE 1 DE DEFINICIÓN DETALLADA DEL PROBLEMA | 69 |
| 3.1.1. <i>F.1.1. Monitorización de edificios existentes</i> | 69 |
| 3.1.2. <i>F.1.2. Definición de los escenarios de análisis</i> | 76 |
| CAPÍTULO 3.2. FASE 2 DE DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE “ESCENARIOS BASE” | 88 |
| 3.2.1 <i>F.2.1. Diseño de los escenarios base de análisis</i> | 88 |
| 3.2.2 <i>F.2.2. Simulación y post proceso de los escenarios base</i> | 95 |
| CAPÍTULO 3.3. FASE 3 DE ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE GESTIÓN Y USO DE LOS EDIFICIOS | 99 |
| 3.3.1. <i>F.3.1. Diseño de los escenarios optimizados</i> | 99 |
| 3.3.2. <i>F.3.2. Simulación y post proceso de los escenarios optimizados</i> | 101 |
| CAPÍTULO 4. RESULTADOS | 103 |
| CAPÍTULO 4.1. RESULTADOS DE LAS MONITORIZACIONES | 104 |
| 4.1.1 <i>Resultados de las encuestas</i> | 104 |
| 4.1.2. <i>Resultados de las monitorizaciones</i> | 109 |
| 4.1.3. <i>Interpretación de resultados y determinación de las problemáticas</i> | 112 |
| 4.1.4. <i>Validación de las hipótesis de simulación</i> | 115 |
| CAPÍTULO 4.2. RESULTADOS DEL ESCENARIO BASE | 119 |
| 4.2.1. <i>Resultados específicos en demandas energéticas del escenario base</i> | 121 |
| 4.2.2. <i>Resultados específicos en consumos energéticos del escenario base</i> | 137 |
| 4.2.3. <i>Resultados específicos en confort del escenario base</i> | 146 |
| 4.2.4. <i>Resultados específicos en costes económicos del escenario base</i> | 156 |
| 4.2.5. <i>Análisis global de variables de interés del escenario base</i> | 166 |
| CAPÍTULO 4.3. RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS..... | 177 |
| 4.3.1 <i>Resultados del escenario de optimización lumínica</i> | 179 |
| 4.3.2 <i>Resultados del escenario de optimización térmica</i> | 186 |
| 4.3.3 <i>Resultados del escenario de optimización lumínico-térmica</i> | 189 |

| | |
|--|------------|
| CAPÍTULO 4.4. RESULTADOS COMPARADOS | 192 |
| 4.4.1. <i>Resultados específicos comparados entre escenarios</i> | 193 |
| 4.4.2. <i>Resultados globales comparados entre escenarios</i> | 202 |
| CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 205 |
| CAPÍTULO 5.1. CONCLUSIONES..... | 206 |
| 5.1.1. <i>Sobre la metodología</i> | 206 |
| 5.1.2. <i>Sobre los resultados del escenario base</i> | 208 |
| 5.1.3. <i>Sobre los resultados de los escenarios optimizados</i> | 211 |
| 5.1.4. <i>Conclusiones generales</i> | 212 |
| CAPÍTULO 5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN..... | 215 |
| 5.1.5. <i>Análisis de edificios de oficinas de nueva planta en clima continental del sur de Europa 215</i> | |
| 5.1.6. <i>Análisis del potencial de rehabilitación y gestión energética en edificios de uso administrativo en clima cantábrico</i> | 218 |
| BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS | 220 |
| BIBLIOGRAFÍA Y ESTUDIOS | 221 |
| OTRAS REFERENCIAS | 228 |
| <i>Empresas y Organismos</i> | 228 |
| <i>Herramientas</i> | 230 |
| PUBLICACIONES Y CONGRESOS..... | 231 |
| <i>De la Tesis</i> | 231 |
| <i>Del proyecto de continuidad de la Tesis</i> | 231 |

Listado de tablas

| | |
|--|-----|
| Tabla 1. Nombre y características de herramientas de simulación de edificios. Fuente: elaboración propia | 56 |
| Tabla 1. Nombre y ubicación de los edificios seleccionados. Fuente: elaboración propia | 71 |
| Tabla 2. Descripción de las zonas de monitorización por edificios. Fuente: elaboración propia | 71 |
| Tabla 3. Período de monitorización y agrupación de edificios. Fuente: elaboración propia | 74 |
| Tabla 6. Escenarios de tipos de vidrios. Fuente: elaboración propia | 80 |
| Tabla 5. Parámetros variables y soluciones de análisis. Fuente: elaboración propia | 87 |
| Tabla 4. Resumen de los costes de inversión según tipología de fachada, elemento de sombra y tipo de hueco. Fuente: ALIA | 94 |
| Tabla 7. Escenarios de optimización. Fuente: elaboración propia | 100 |
| Tabla 8. Parámetros considerados en los casos de análisis de los escenarios de optimización. Fuente: elaboración propia | 101 |
| Tabla 5. Distribución de encuestados por sexo y edificio | 105 |
| Tabla 6. Valoración del orden de magnitud de los valores estimados de consumo energético de clima con valores sintéticos procedentes de consumos reales. Fuente: elaboración propia | 118 |
| Tabla 7. Valores promedio (hueco y sombra) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 123 |
| Tabla 8. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m ² /año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 125 |
| Tabla 9. Valores promedio (orientaciones, fachadas y vidrios) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m ² /año) por tipologías de elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 126 |
| Tabla 10. Valores promedio (hueco y sombra) de demandas anuales de calefacción (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 129 |
| Tabla 11. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de demandas anuales de calefacción (kWh/m ² /año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 130 |
| Tabla 12. Valores promedio (orientaciones, fachadas y vidrios) de demandas anuales de calefacción (kWh/m ² /año) por tipologías de elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 131 |
| Tabla 13. Valores promedio (hueco y sombra) de demandas anuales de carga latente (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 134 |
| Tabla 14. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de demandas anuales de carga latente (kWh/m ² /año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 136 |
| Tabla 15. Valores promedio (orientaciones, fachadas y vidrios) de demandas anuales de carga latente (kWh/m ² /año) por tipologías de elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 137 |
| Tabla 16. Rendimientos estacionales del sistema considerado. Fuente: elaboración propia | 138 |
| Tabla 17. Valores promedio (hueco y sombra) de consumos anuales de frío (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 139 |
| Tabla 18. Valores promedio (hueco y sombra) de consumos de calefacción (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 139 |
| Tabla 19. Valores promedio (hueco y sombra) de consumos de carga latente (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 139 |
| Tabla 20. Valores promedio (hueco y sombra) de consumos totales (kWh/m ² /año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 140 |
| Tabla 21. Valores promedio (hueco y sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 152 |
| Tabla 22. Valores promedio (hueco y sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 152 |
| Tabla 23. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 154 |
| Tabla 24. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 154 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 25. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 155 |
| Tabla 26. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 156 |
| Tabla 27. Valores promedio (tipos de vidrio y elementos de sombra) de la inversión PEC (€/m ² s.útil) por tipos de fachada. Fuente: elaboración propia | 158 |
| Tabla 28. Valores promedio de la inversión PEC (€/m ² s.útil) por tipos de vidrio (izquierda) y de elementos de sombra (derecha). Fuente: elaboración propia | 158 |
| Tabla 29. Valores promedio (hueco y sombra) de los costes de operación energética (€/m ² s.útil/año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 159 |
| Tabla 30. Valores promedio (hueco y sombra) del CVUa (€/m ² superficie útil/año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia | 164 |
| Tabla 31. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) del CVUa (€/m ² superficie útil/año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia | 165 |
| Tabla 32. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) del CVUa (€/m ² superficie útil/año) por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia | 166 |
| Tabla 33. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumo global (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas. Fuente: elaboración propia | 168 |
| Tabla 34. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil anualizados (€/m ² /año) y de inversión (€/m ²) según tipología de fachadas. Fuente: elaboración propia | 175 |
| Tabla 35. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia | 181 |
| Tabla 36. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos por usos (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia | 183 |
| Tabla 37. Distribuciones promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos por usos (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia | 183 |
| Tabla 38. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m ² /año) y de inversión (€/m ²) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia | 185 |
| Tabla 39. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia | 187 |
| Tabla 40. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m ² /año) y de inversión (€/m ²) según tipología de fachadas en el escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia | 188 |
| Tabla 41. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m ² /año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia | 190 |
| Tabla 42. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m ² /año) y de inversión (€/m ²) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia | 192 |
| Tabla 43. Valores de consumos por usos (kWh/m ² /año) de los distintos casos significativos de la fachada F00 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia | 193 |
| Tabla 44. Valores de consumos por usos (kWh/m ² /año) de los distintos casos significativos de la fachada F05 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia | 197 |
| Tabla 45. Valores de consumos por usos (kWh/m ² /año) de los distintos casos significativos de la fachada F06 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia | 200 |

Listado de figuras

| | |
|---|----|
| Figura 1. Esquema de colaboración en el desarrollo del trabajo. Fuente: Elaboración propia. | 11 |
| Figura 2. Esquema de trabajo según fases y tareas. Fuente: elaboración propia | 12 |
| Figura 3. Análisis de coste óptimo Financiero para un escenario normativo CTE 2007 (izda) y CTE 2013 (dcha) con los límites de letra B marcados según proporciones de hueco en fachada. Fuente: TOBEEM 2013. | 15 |
| Figura 4. Evolución del consumo final de energía por sectores. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011]. | 20 |
| Figura 5. Evolución de estructura sectorial de la demanda de energía final. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011] | 21 |
| Figura 6. Distribución de superficies construidas (m ²) según usos de los edificios. Fuente: BPIE [BPIE, 2014] | 23 |
| Figura 7. Intensidad final y sectorial en el estado español. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011] | 23 |
| Figura 8. Evolución del consumo del sector Servicios en el estado español. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011] | 24 |
| Figura 9. Evolución de la superficie (pies cuadrados) de edificios de oficinas certificados LEED Gold en el mundo. Fuente: USGBC 2011 | 24 |
| Figura 10. Distribución de consumos por usos en 2010 para el global de la edificación (izquierda), para el subsector residencial (centro), y para el subsector servicios (derecha). Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011] | 25 |
| Figura 11. Estructura sostenibilista presentada por el GRI. Fuente: [GRI 2002] | 27 |
| Figura 12. Estructura sostenibilista presentada por CSD. Fuente: [CSD, 2001]. | 28 |
| Figura 13. Dimensiones e interconexiones de la sostenibilidad según esquema del instituto Wuppertal. Fuente: [Labuschagne, 2003]. | 28 |
| Figura 14. Efecto embudo representando la complejidad de los escenarios determinados por los condicionantes de la sociedad actual. Fuente: [Roberts, 2007]. | 29 |
| Figura 15. Esquema de los ciclos de vida biológico y técnico propuesto por Cradle to cradle, a modo y semejanza del esquema existente en la naturaleza. Fuente: [Passalacqua y Jankelevich, 2012]. | 33 |
| Figura 16. Ejemplo de distintos escenarios (soluciones constructivas, arquitectónicas, de sistemas, etc.) de edificios de un determinado uso (residencial o terciario) con su curva envolvente (Pareto) que permite establecer los objetivos de cost optimal (mayor relación energía primaria vs costes globales), y NZEB (mínima energía primaria consumida), en relación a la situación actual (edificios de máxima primaria). Fuente: [Wittchen y Thompsen, 2012]. | 34 |
| Figura 17. Madurez de distintas tecnologías de suministro y transformación de energía. El tamaño del círculo indica el ahorro en emisiones previsto para 2050, y su posición en el diagrama indica su disponibilidad actual (izquierda), o futura (derecha). Fuente: [SETIS, 2009]. | 39 |
| Figura 18. Esquema del edificio entendido como sistema, con entradas, salidas y parámetros internos conectados. Fuente: [Poizaris, 2008]. | 42 |
| Figura 19. Relación entre las condiciones de confort de los edificios, el número de accidentes, la productividad laboral, y la eficiencia. Fuente: [Wyon, 1986]. | 46 |
| Figura 20. Esquema de las fases y tareas de trabajo seguidos. Fuente: elaboración propia | 68 |
| Figura 21. Imágenes de los edificios seleccionados para la monitorización. Fuente: elaboración propia | 70 |
| Figura 22. Imágenes sobre la colocación de sensores en los edificios seleccionados. Fuente: elaboración propia | 73 |
| Figura 23. Ejemplos de representación gráfica de los datos obtenidos de monitorización. Fuente: elaboración propia | 74 |
| Figura 24. Captura de pantalla de la encuesta tipo facilitada a los usuarios. Fuente: elaboración propia. | 75 |
| Figura 25. Esquema de la zona tipo de análisis. Fuente: ALIA | 77 |
| Figura 26. Ejemplo de los modelos CAD de definición de tipologías de fachada. Fuente: ALIA | 79 |
| Figura 27. Definición de las orientaciones normativas hasta 2013. Fuente: CTE, 2007 | 82 |
| Figura 28. Índices de rendimiento estacional en generación de frío (SEER) y de calor (HSPF). Fuente: [Fairey, Parker, Wilcox, y Lombardi, 2004]. | 86 |
| Figura 29. Imágenes de los levantamientos realizados para los edificios monitorizados. Fuente: ALIA | 89 |
| Figura 30. Ejemplo de esquema de modelización TRNSYS (izquierda) y de salidas DaySim (derecha) en el ámbito del trabajo. Fuente: AIGUASOL. | 90 |
| Figura 31. Diagrama de puntos de análisis de la iluminación natural. Fuente: Elaboración propia | 96 |
| Figura 32. Ejemplo de código de colores aplicado. Fuente: ALIA | 98 |

| | |
|---|-----|
| Figura 33. Pruebas de representación gráfica de indicadores (izquierda) y opción finalmente seleccionada (derecha). Fuente: ALIA y elaboración propia | 99 |
| Figura 34. Distribución de resultados de confort térmico para el global de los edificios diferenciados por sexos. Fuente: elaboración propia | 106 |
| Figura 35. Distribución de resultados de gestión de los usuarios para el global de los edificios diferenciados por sexos. Fuente: elaboración propia | 107 |
| Figura 36. Representación gráfica de las encuestas de satisfacción del CZF. Fuente: CZF y elaboración propia | 108 |
| Figura 37. Evaluación de las variables climáticas medidas para el período de análisis del edificio de el Pla. Fuente: elaboración propia | 110 |
| Figura 38. Evolución de las variables de medición de una de las zonas de análisis del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia | 110 |
| Figura 39. Comparativas cruzadas de variables de medición para días tipo de una zona del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia | 111 |
| Figura 40. Ejemplos de variables derivadas para una zona tipo del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia | 111 |
| Figura 41. Ejemplo de representación gráfica de variable de interés (demanda refrigeración) para una determinada orientación (N) en casos del escenario base. Fuente: elaboración propia | 120 |
| Figura 42. Ejemplo de representación gráfica de distribución de consumos por usos para una determinada tipología de fachada (continua) en una orientación dada (N). Fuente: elaboración propia. | 120 |
| Figura 43. Detalle ejemplo (para la fachada tipo 0) de la representación gráfico-numérica conjunta de los resultados de demandas por variables de análisis. Fuente: elaboración propia | 121 |
| Figura 44. Demandas de refrigeración para los casos de análisis del escenario base, según orientaciones. Fuente: elaboración propia | 122 |
| Figura 45. Demandas de calefacción para los casos de análisis del escenario base, según orientaciones. Fuente: elaboración propia | 128 |
| Figura 46. Demandas de carga latente para los casos de análisis del escenario base, según orientaciones. Fuente: elaboración propia | 133 |
| Figura 47. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 00 de referencia del escenario base. Fuente: elaboración propia | 142 |
| Figura 48. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación N. Fuente: elaboración propia | 143 |
| Figura 49. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación S. Fuente: elaboración propia | 144 |
| Figura 50. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación O. Fuente: elaboración propia | 145 |
| Figura 51. Porcentaje de horas anuales de ocupación en el que se producen sobrecalentamientos, y sensación de calor, según orientaciones para casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 147 |
| Figura 52. Porcentaje de horas anuales de ocupación en el que se producen sensaciones de frío, según orientaciones para casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 148 |
| Figura 53. Porcentaje de horas anuales de ocupación de aprovechamiento de la iluminación natural a 2 y 6m de profundidad, para las orientaciones N, S y E y según casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 150 |
| Figura 54. Porcentaje de horas anuales de ocupación de aprovechamiento de la iluminación natural a 2 y 6m de profundidad, para las orientaciones O, SE y SO y según casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 151 |
| Figura 55. Costes de inversión (PEC por m ² de superficie útil) para las distintas soluciones arquitectónicas y constructivas consideradas en los casos de análisis. Fuente: elaboración propia. | 158 |
| Figura 56. Costes de operación energética (€ por m ² de superficie útil) para los casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 161 |
| Figura 57. Costes de Vida útil anualizados (€ por m ² de superficie útil y año) por orientaciones y fachadas y para los casos de análisis. Fuente: elaboración propia | 163 |
| Figura 58. Representación gráfica de las demandas energéticas agrupadas por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia | 167 |
| Figura 59. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupadas por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia | 168 |
| Figura 60. Representación gráfica de los confortos térmicos y lumínicos agrupadas por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia | 172 |

| | |
|---|-----|
| <i>Figura 61. Representación gráfica de los costes de vida útil agrupadas por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia</i> | 174 |
| <i>Figura 62. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia</i> | 180 |
| <i>Figura 63. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia</i> | 184 |
| <i>Figura 64. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia</i> | 186 |
| <i>Figura 65. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia</i> | 188 |
| <i>Figura 66. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia</i> | 190 |
| <i>Figura 67. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia</i> | 191 |
| <i>Figura 68. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio</i> | 195 |
| <i>Figura 69. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio</i> | 198 |
| <i>Figura 70. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio</i> | 201 |
| <i>Figura 71. Representación gráfica de los consumos de energía primaria comparados entre escenarios de análisis, agrupados por fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia</i> | 202 |
| <i>Figura 72. Representación gráfica de los costes de vida útil comparados entre escenarios de análisis, agrupados por fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia</i> | 203 |

Glosario

ACS. Agua Caliente Sanitaria

Cerramiento. Elemento constructivo de los edificios que los separa del exterior, sea el ambiente, el terreno u otros edificios.

Certificación energética de Edificios. Procedimiento normativo por el que se verifica la calificación energética de un edificio, nuevo o existente, en base comparativa a una referencia o según valores absolutos, i que conlleva la expedición de un certificado energético por parte de las autoridades competentes.

Certificado energético. Documentación resultante del procedimiento de certificación, obtenida de las propias herramientas oficiales y legalizada por los organismos competentes de las comunidades autónomas, y que incluye la calificación energética del edificio según la escala de eficiencia energética.

Confort lumínico. Condiciones interiores ambientales de luminosidad, reales o establecidas por normativa, y que deben producir una sensación de confort adecuada y suficiente a los ocupantes de los edificios.

Confort térmico. Condiciones interiores ambientales de temperatura, humedad y velocidad del aire, reales o establecidas por normativa, y que deben producir una sensación de confort adecuada y suficiente a los ocupantes de los edificios.

Consumo de energía final. Energía suministrada al consumidor para ser convertida en energía útil, de forma directa o mediante una transformación in situ.

Consumo de energía primaria. Energía obtenida de una fuente de la naturaleza, y que no deriva de ningún proceso humano de conversión. La energía primaria puede ser no renovable (petróleo, carbón, gas, etc.), o renovable (hidroeléctrica, solar, eólica, etc.). De la transformación de la energía primaria, se obtiene la energía final.

Demanda energética. Es la energía necesaria para mantener unas condiciones de confort determinadas en los espacios habitables de los edificios. Estas quedan condicionadas por la tipología del edificio, su uso, su operación y la zona climática en el que se encuentra, como factores principales. Las demandas energéticas pueden ser de calefacción y refrigeración, tanto sensibles como latentes, según las condiciones de libre evolución de los espacios habitables queden por debajo o por encima, respectivamente, de las condiciones de confort requeridas.

Edificio en libre evolución. Comportamiento de los principales indicadores térmicos y lumínicos de un edificio, considerando la no existencia de sistemas activos de climatización e iluminación.

Eficiencia energética de un edificio. Es la expresión del consumo de energía que se estima necesaria para satisfacer la demanda energética de un edificio en unas condiciones normales de funcionamiento y ocupación.

Espacio habitable. Espacio formado por uno o más recintos habitables de un mismo uso y condiciones térmicas equivalentes, agrupados con el fin del cálculo de su demanda térmica.

Espacio no habitable. Espacio formado por uno o más recintos no habitables de un mismo uso y condiciones térmicas equivalentes, agrupados con el fin del cálculo de su demanda térmica.

Factor de sombra. Es la fracción de la radiación incidente en un hueco que no queda obstruida por la presencia de obstáculos de fachada.

Factor solar. Es el cociente entre la radiación solar incidente que se introduce en el edificio a través de los huecos de su envolvente, y la que se introduciría si los vidrios de los huecos fueran totalmente transparentes.

Factor solar modificado. Es el producto del factor solar por el factor de sombra.

Hueco. Es cualquier elemento semitransparente de la envolvente del edificio; comprende las ventanas, lucernarios o puertas de vidrio.

Mix energético eléctrico. Porcentaje de los distintos tipos de energía primaria utilizada para la producción de un kWh eléctrico en una región o latitud dada.

Partición interior. Elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

Permeabilidad al aire. Propiedad de un elemento físico en un hueco de dejar pasar el aire bajo condiciones de diferencial de presión entre ambos lados del mismo.

Piel del edificio. Conjunto de cerramientos de un edificio que cierran los espacios de este para con el exterior.

Puente térmico. Zonas de la envolvente térmica de los edificios en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, sea por un cambio del grueso del cerramiento, de los materiales utilizados, por penetración de elementos constructivos de distintas conductividades térmicas u otros. Ello conlleva una disminución o discontinuidad de la resistencia térmica respecto al resto de cerramientos de su entorno inmediato, aumentando la producción de condensaciones superficiales.

Severidad climática. Es el cociente entre la demanda energética de un edificio cualquiera en una localidad dada, y la correspondiente al mismo edificio en una localidad de referencia. En la normativa española, Madrid es la localidad de referencia, por lo que su severidad climática resulta en 1. Se distingue entre severidad climática de invierno y de verano.

Transmitancia térmica. Es el flujo de calor, en régimen estacionario, dividido por el área y la diferencia de temperaturas de los medios situados a cada lado del elemento considerado.

Zona climática. Zonas geográficas con condiciones climáticas análogas. En la normativa española se definen 12 zonas climáticas en función de las severidades de invierno (A, B, C, D i E) y verano (1, 2, 3 i 4) de la localidad en cuestión.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

CAPÍTULO 1.1. ANTECEDENTES, RELEVANCIA Y MOTIVACIÓN

Tradicionalmente la consigna principal del ecologismo ha sido "Reducir, reutilizar, reciclar". Reducir el impacto sobre el medio ambiente provocaría una ralentización del mismo, pero más rápido o más despacio estaríamos llegando a un mismo final. Ante este panorama los últimos años han surgido nuevas propuestas de actuación que provocan un cambio de enfoque, enriqueciendo las consignas anteriores. La idea es instar a que se atajen los problemas desde su misma raíz, es decir, que más allá de reducir los consumos de energía, nos centremos en que, desde el propio diseño y concepción de cualquier producto, estrategia o política, se tenga en cuenta todas las fases de los productos involucrados (extracción, procesamiento, utilización, reutilización y reciclaje) de modo que ni siquiera sean necesarias los gastos de energía, incluso que el balance de gastos y aportes sea positivo. [Braungart y McDonough, 2003].

Llevado a un ejemplo práctico, esto implicaría que si un edificio gasta mucha energía, en vez de (o mejor, a la vez de) optimizar el rendimiento de la maquinaria y la instalación de fuentes renovables, se conciba el edificio desde su inicio planteándose el aprovechamiento de la ventilación cruzada y de la iluminación natural, para no necesitar el gasto de energía que se produciría de otra forma, o incluso produciendo más energía de la que consume.

Entendiendo estos enfoques, se pueden ordenar los diferentes caminos hacia la sostenibilidad, considerando los conceptos de suficiencia, coherencia y eficiencia [Linz, 2006]. La suficiencia persigue el logro de un menor consumo de los recursos a través de una demanda de bienes menor. La coherencia significa el uso de tecnologías compatibles con la naturaleza que aprovechen los ecosistemas sin destruirlos. Finalmente la eficiencia orienta al mejor aprovechamiento de la materia y de la energía, es decir, un mayor aprovechamiento de los recursos naturales.

Estos tres caminos hacia la sostenibilidad deben aplicarse conjuntamente, en la medida de lo posible, para poder alcanzar el éxito. En algunos escenarios o sectores no es posible aplicar con igual intensidad estos tres caminos [Folch, 2007], pero ello no significa, sin embargo, que no valga la pena trabajar, en cada caso, en estas tres líneas, tanto de forma directa, como indirectamente en las derivadas que tengan estos servicios, productos, estrategias o políticas.

Estos conceptos, sin embargo, no resultan de fácil aplicación debido a la propia complejidad del concepto de sostenibilidad, con múltiples variables interrelacionadas entre

sí, en su aplicación bajo el prisma de diferentes problemáticas. En este sentido, es necesario alcanzar las siguientes tareas para poder aplicar razonamientos sostenibilistas a diferentes niveles:

- i. Definir, de forma clara para todos los actores participantes en un determinado proceso, las claves de la sostenibilidad en determinados marcos y bajo determinadas circunstancias.
- ii. Proponer metodologías de trabajo y ordenar los pasos a seguir para poder disponer de una visión de conjunto que permita seguir una guía hacia los objetivos finales.
- iii. Promover la transversalidad entendiendo que el análisis multidisciplinar de las problemáticas planteadas resulta la única vía de éxito en la solución de los problemas complejos que se presentan.
- iv. Promover la participación en la resolución de las problemáticas planteadas ya un nivel que considere no sólo los especialistas de las diferentes temáticas relacionadas en cada caso, sino también los futuros receptores finales de las soluciones.
- v. Generar herramientas que faciliten el análisis y el seguimiento de los diferentes pasos planteados para resolver los problemas presentados.

Estas tareas han sido desarrolladas en el marco de distintos organismos en los últimos años, aunque habitualmente desde perspectivas generalistas con la ambición de alcanzar un abanico mayor de casuísticas. De esta forma, su aplicación a sectores o escenarios concretos requiere de adaptaciones específicas. En este sentido, existen algunos ejemplos en el sector de la edificación [Roberts, 2007] aunque, en el presente momento, los edificios diseñados, construidos, explotados y desmantelados bajo estos preceptos siguen formando parte de una minoría. Es necesario valorar, igualmente, las normativas que en el sector que se han venido instaurando en los últimos años [CTE, 2007-2013] que, al menos parcialmente, contribuyen a este ejercicio hacia la construcción sostenible.

En cualquier caso, la falta de una generalización en la aplicación de la sostenibilidad en la edificación obedece a múltiples factores tanto económicos, como culturales, pasando por técnicos. De entre estos, se evidencia la falta de conocimiento específico, en base a herramientas y metodologías concretas, que faciliten la implantación masiva de estos conceptos en el sector y que se dirijan específicamente a casuísticas y actores determinados.

La motivación de la presente Tesis es paliar, aunque sea parcialmente, esta carencia mediante el desarrollo de herramientas y metodologías concretas para aplicar el

sostenibilismo de forma extensa en el sector de la construcción, y más concretamente, en edificios de oficinas. Las oficinas, siendo de los edificios de terciario con una mayor intensidad energética en el estado español, se caracterizan por ser pioneras en ciertas actuaciones, principalmente a causa de que el promotor y el gestor del edificio son el propio actor. Ello facilita, además, que se puedan dar las condiciones de transversalidad y participación necesarias en procesos de estas características.

De forma concreta, el objetivo es analizar las tendencias resultantes del diseño y uso de edificios de oficinas transparentes en un clima mediterráneo, y comprobar su viabilidad en el contexto normativo y energético.

CAPÍTULO 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Aunque se ha mencionado el objeto de la presente Tesis, es necesario identificar concretamente el problema, más cuando se trata de un marco tan amplio. En este sentido, el problema se asienta sobre la constatación del desconocimiento exhaustivo del comportamiento energético de edificios de oficinas. Esto, sin embargo, continúa resultando en un problema demasiado amplio cuando se pretende determinar o radiografiar a un nivel que permita, posteriormente, la toma de decisiones por terceros. De esta forma, se tomaron en consideración dos premisas que, por distintas motivaciones, delimitaban el problema:

- i. Ubicación geográfica. Pese a que las tendencias constructivas en el sector de oficinas se han homogeneizado, de manera que fácilmente se encuentran soluciones muy similares, tanto arquitectónica como constructivamente, en distintas latitudes, evidentemente su comportamiento depende, en gran medida, de su ubicación geográfica. En última instancia, esta es la que marca las condiciones climáticas (más allá de sociológicas que condicionen el uso) en las que el edificio debe cumplir con los estándares de confort y salubridad. De esta forma, el análisis se centra en edificios de oficinas para un clima Mediterráneo, y en concreto, para condiciones específicas de la ciudad de Barcelona. Aunque evidentemente las condiciones meteorológicas de Barcelona son distintas a las de otros puntos geográficos del Mediterráneo, dando valores absolutos de comportamiento energético y económico distintos, se estima que las variaciones relativas entre los escenarios simulados y, en definitiva las tendencias observadas, serán semejantes.

- ii. Tipología edificatoria. En el sector de oficinas es posible encontrar gran variedad de soluciones arquitectónicas y constructivas, sin entrar a valorar edificios singulares que, por sus soluciones o planteamientos de inicio, los hacen característicos y analizables uno a uno. Sin embargo, en los últimos lustros se ha establecido una tendencia en la construcción de edificios con elevadas proporciones de huecos en su piel (valores por encima del 50%). Son los que se denominan en la presente Tesis “edificios transparentes”. La experiencia del Doctorando, como consultor energético, así como el tratamiento que estos edificios, con estas elevadas proporciones de hueco en piel, tienen en las normativas vigentes, evidencia su complejidad específica desde el vector energético. Efectivamente, y más allá de las motivaciones que hayan llevado a promotores y profesionales de la construcción a generar esta tendencia, la realidad es que, este tipo de soluciones suelen conllevar problemáticas en el confort térmico y lumínico, así como elevadas facturas energéticas. Esta es la hipótesis a demostrar en la presente Tesis.

De esta forma, se delimita el problema al análisis de edificios de uso oficinas, para un clima como el de la ciudad de Barcelona, y con soluciones arquitectónicas y constructivas que cuenten con elevadas proporciones de hueco en la envolvente. Como se verá, el análisis también se ha realizado para edificios considerados opacos, o de baja proporción de hueco en fachada, para obtener una referencia comparativa. En el capítulo de metodología se describe exactamente los valores utilizados.

Por otra parte, resulta importante constatar que el problema se ha enfocado a nivel de “zona tipo”. Se entiende como “zona tipo” un volumen de unas determinadas dimensiones que represente las condiciones térmicas y lumínicas, y en definitiva energéticas, del edificio que representa. Así, por ejemplo, en las propias herramientas de certificación energética normativa [CALENER, 2013], se acepta esta simplificación a nivel de planta para edificios con un cierto grado de homogeneidad (plantas idénticas entre ellas). Este factor, que pudiera parecer un detalle, resulta fundamental en el momento de acotar el problema, y también en la lectura y comprensión de los datos resultantes, que se dan en valor relativo, esto es, por m^2 de superficie afectada. Una vez más, esto resulta coherente con el planteamiento de análisis comparativo y no de valores absolutos.

Finalmente remarcar que, en base a lo establecido, se han delimitado los escenarios a analizar en función de,

- ✓ Tipologías de fachada. Considerando como tales distintas soluciones arquitectónicas de “fachadas transparentes” y una relativa a “fachada opaca”, resumidas en 7 variantes distintas (6 originales y una referencia).
- ✓ Tipologías de vidrios. Que, cumpliendo con los requisitos mínimos establecidos por el CTE, representen un abanico representativo de casuísticas. En este sentido, se trabaja con 6 tipologías distintas de vidrios.
- ✓ Elementos de sombra. Que afectan a la radiación incidente a las fachadas, y que consideran tanto sobras del edificio para consigo mismo, sobras del entorno, y sombras de elementos móviles o practicables, dando un total de 5 casuísticas distintas.
- ✓ Orientaciones. Donde se han considerado 6 orientaciones que corresponden a las definidas en su día por el CTE 2007. En la actualización del mismo, el número de orientaciones ha aumentado a 8, considerando que lo que anteriormente se consideraba orientación Norte (60° a Este y Oeste del Norte puro), ahora se divide en tres (N, NE y NW) distribuidas simétricamente. Ello no afecta a las condiciones de hueco por orientación.

Dado unos determinados sistemas de generación y difusión de clima, así como de iluminación, la combinatoria de todos los valores de las variables precedentes da un total de 1.260 casos del denominado “escenario base”. Es importante aclarar que se ha utilizado una determinada nomenclatura por la que se entiende como “caso” cada uno de las combinaciones únicas de las variables definidas. Por otra parte, se entiende como “escenario”, un conjunto de casos analizados bajo unas mismas condiciones de operación y gestión de los edificios.

Finalmente, y sobre una muestra representativa de casos del denominado “escenario base”, se llevan a cabo variaciones de los modos de operación y gestión de los edificios en una versión simplificada. De esta forma, y considerando el modo ideal en que operan las simulaciones y el peso de los usuarios en el comportamiento energético de edificios, se plantean variaciones según operación domótica de los elementos de sombra móviles.

Dicha selección obedece a la consideración de que los elementos que, siendo modificables por el usuario o sistemas domóticos, conllevan una modificación perceptible del consumo de los edificios de oficinas. Estos elementos son: la abertura de ventanas, la operación de los elementos de sombra móviles, la temperatura de consigna de las zonas de uso y la operación de los sistemas de iluminación. De estos se ha descartado, como delimitación del análisis, los casos en que las ventanas sean practicables. De los restantes, se plantean las

hipótesis, también delimitantes del proyecto, que las variaciones en las condiciones de consigna, cada vez más, se llevan a cabo de forma centralizada y por el personal de mantenimiento, y no por el usuario directamente. Igualmente, y en relación a la regulación de la iluminación, las normativas vigentes ya han conducido a una reducción de la influencia voluntaria del usuario, por estar obligados los edificios de nueva promoción a utilizar sistemas de regulación de potencia por iluminación natural, y sensores de presencia en zonas de paso [CTE, 2007 - 2013].

De todo ello, el problema se ha acotado primeramente a situaciones o casos en que exista un sistema domótico de regulación de los elementos de sombra según optimización lumínica (“escenarios optimización lumínica”). Esto es, que se regule la entrada de radiación solar directa para que esta no cause deslumbramientos en el plano de trabajo. En segunda instancia, se han analizado casos en que exista un sistema domótico de regulación de los elementos de sombra según optimización térmica (“escenarios optimización térmica”). Esto es, que se regule la entrada de radiación solar con el fin de reducir los sobrecalentamientos que esta pueda producir, pero aprovechando el efecto beneficioso en la reducción de las demandas de calefacción. Finalmente se analiza un tercer escenario, “escenario de optimización térmico-lumínica”, en el que los elementos de sombra actúan, bajo un sistema domótico, priorizándose, en cada momento, su posición en base a evitar deslumbramientos y sobrecalentamientos, pero aprovechando la radiación solar en la reducción de las demandas de calefacción.

Los 1,260 casos del “escenario base” más los casos simulados en los tres “escenarios de optimización” conforman el marco concreto del análisis.

CAPÍTULO 1.3. OBJETIVOS DE LA TESIS

1.3.1. OBJETIVO PRINCIPAL

El objetivo de la investigación es determinar las directrices y viabilidades energéticas y económicas del comportamiento de edificios de oficinas transparentes en clima mediterráneo, bajo la hipótesis que los mismos resultan en grandes consumidores por su propia definición. Se busca, igualmente, sintetizar y traspasar el conocimiento especializado de expertos en comportamiento energético de edificios a los distintos actores del proceso, desde los promotores-gestores, a los usuarios finales y personal de mantenimiento, pasando por profesionales del diseño de edificios de oficinas.

1.3.2. OBJETIVOS SECUNDARIOS

La consecución del mencionado objetivo pasa por alcanzar otros secundarios;

- ✓ Evaluar y caracterizar los pesos de los distintos factores que afectan al ciclo de vida energético de los edificios de oficinas transparentes.
- ✓ Desarrollar las herramientas y conocimientos parametrizados que, fruto de una visión y análisis sistémicos de los distintos elementos a considerar en este tipo de construcciones, sienten las bases apriorísticas de la sostenibilidad de los edificios de oficinas transparentes.
- ✓ Definir directrices y una metodología que permitan sintetizar, en un lenguaje comprensible a los actores implicados y centrándose en las fases iniciales de diseño, los conocimientos energéticos a considerar por los distintos actores de diseño, gestión y uso de este tipo de edificios.
- ✓ Dimensionar y demostrar la importancia de la correcta gestión y uso de edificios de oficinas, promoviendo la implementación la participación de los distintos actores en las fases iniciales de diseño de este tipo de construcciones.
- ✓ Dimensionar y parametrizar la relación entre los costes energéticos y económicos en función del diseño, gestión y uso de los edificios de oficinas transparentes.

Siendo la consecución de los mismos inherente a la del objetivo global planteado.

Más allá de lo descrito, existen otros objetivos que, siendo igualmente relevantes, no forman parte del foco principal de la presente Tesis. Sin embargo, se considera que los resultados y conclusiones de la misma pueden contribuir, en mayor o menor grado, a su consecución. En concreto:

- ✓ Contribuir a la evaluación del impacto que tengan, en los edificios de oficinas, la implementación de las nuevas tecnologías, de la mejora de las existentes, y de variaciones en la disposición de materiales de una forma sencilla y práctica.
- ✓ Contribuir a la toma de decisiones que permitan facilitar la implementación de las vigentes normativas, así como a generar normativas específicas orientadas a subsectores de la edificación que, por su relevancia en el problema energético de la construcción, se consideren de especial interés en su tratamiento diferencial.
- ✓ Contribuir a la evaluación financiera de inversiones en el sector de los edificios de oficinas, tanto en los casos en que el promotor sea el propio gestor, como en aquellos en que intervengan fondos de inversión. Ello resulta relevante en un sector en el que, en los últimos años, el vector energético se ha introducido en las fases iniciales de

inversión a través de certificaciones medioambientales privadas y, en última instancia, modelos de negocio en base a empresas de servicios energéticos (ESE/ESCO).

- ✓ Contribuir a poner en valor la importancia de los trabajos pluridisciplinarios y del análisis sistémico en el diseño y la operación de edificios grandes consumidores, no solo en los analizados de forma específica en la presente Tesis. Esto es, fomentar la transferibilidad de los resultados y, sobre todo, de las metodologías desarrolladas en otros ámbitos del sector, u otras localizaciones geográficas.

Aunque en todos ellos se valora una aportación limitada, se entiende que vale la pena incidir en los actores relevantes en cada uno de estos, aunque sea para contribuir parcialmente a la mejora de sus respectivas problemáticas.

1.3.3. ACTORES OBJETIVO.

Por coherencia con el marco establecido, se valora la importancia de especificar claramente cuáles son los actores objetivos a los que va dirigida la presente Tesis, más allá de los puramente académicos. Efectivamente, se pretende contribuir al conocimiento académico que permita avanzar en la problemática establecida, por el mismo autor o por terceros. Sin embargo, y dada la temática tratada y, como se ha mencionado, en coherencia con el marco establecido, se plantea la existencia de los denominados “actores objetivo”. En concreto:

- ✓ Promotores privados. Este colectivo se convierte en grupo objetivo del proyecto cuando compaginen ese rol con el de gestores de la propia promoción. Este es el caso de edificios corporativos y, en algunos casos, edificios de oficinas bajo distintos modelos de negocio. Si se da este condicionante, entonces las implicaciones y beneficios resultan directamente aplicables a su negocio.
- ✓ Personal de mantenimiento y operación de los edificios. Su rol en las metodologías resultantes del proyecto es clave en el momento de asegurar la superación de las barreras existentes que impiden la implantación masiva de edificios de bajo consumo energético. En primera instancia este colectivo es el responsable del funcionamiento de los edificios gracias al seguimiento cuidadoso y el conocimiento exhaustivo que tienen de estos. En este sentido el colectivo puede filtrar y facilitar la detección de anomalías y el desempeño de las premisas iniciales así como proponer mejoras a los gestores de los edificios. En este sentido hacen de puente entre el uso y funcionamiento de los edificios y la toma de decisiones o estrategias. Directamente este colectivo se beneficiaría de la aplicación de los resultados del proyecto en cuanto

un diseño apropiado y un uso correcto de los edificios facilitarían su trabajo y mejorarían los resultados de sus gestiones.

- ✓ Usuarios de los edificios. Las metodologías y recomendaciones resultantes del proyecto necesitan de la implicación directa de este colectivo con el fin de que lleguen a buen puerto, y que de su aplicación se deriven edificios reales de bajo consumo energético. De poco servirán el resto de actuaciones a contemplar en el ciclo de vida de los edificios si los ocupantes de estos no actúan coherentemente y bajo el punto de vista de la eficiencia energética. El hecho de que sus opiniones y necesidades sean contempladas en el diseño de los edificios debe permitir una aplicación más sencilla y efectiva de los códigos de funcionamiento del edificio. Por otra parte, la participación de los usuarios finales en las metodologías propuestas debe suponer una mejora en sus condiciones de confort y un aumento en la productividad de su trabajo.
- ✓ Arquitecturas e ingenierías. El rol de estos actores es clave ya que estos profesionales son los que tienen que hacer de receptores en las fases de diseño de los edificios, y saber transformar las peticiones de los otros colectivos implicados en soluciones coherentes y energéticamente eficientes. Por este motivo son foco de algunas de las herramientas o metodologías resultantes en el seno del proyecto que deben facilitar su trabajo. La aplicación de estas metodologías y recomendaciones de diseño, deben dar un valor añadido a su trabajo, aumentar su productividad y rendimiento en el cumplimiento de las normativas vigentes, y asegurar el funcionamiento de sus diseños, resultando todo ello en una mayor competitividad.
- ✓ Consultorías energéticas. En última instancia, y en estrecha colaboración con los equipos de arquitectos e ingenieros, los consultores son los que tienen que saber traspasar las directrices genéricas presentadas a las particularidades de cada caso concreto. De esta forma, los consultores son los que tienen que comprobar, mediante las herramientas avanzadas existentes en el mercado, las grandes directrices de diseño aplicadas a los casos en concreto. Participar en proyectos de estas características e interpretar correctamente las problemáticas inherentes a cada proyecto bajo el prisma de las metodologías establecidas, se traducirá en una posibilidad de llevar a cabo su trabajo de forma completa y con resultados evidentes sobrepasando las dificultades habituales de ese rol.

A pesar de todo lo mencionado, se reconoce las limitaciones del Doctorando en llegar, de forma masiva, a estos “actores objetivo” más allá de su actividad profesional, o de

publicaciones relacionadas con la presente Tesis, así como de otros trabajos paralelos o derivados

CAPÍTULO 1.4. METODOLOGÍA DE TRABAJO

Con la finalidad de alcanzar los objetivos propuestos, se ha trabajado bajo un entorno pluridisciplinar, y en una estructura de fases, según temáticas del desarrollo técnico, para intentar aprovechar al máximo los recursos de conocimiento disponibles y crear un marco en el que fuera sencillo ubicarse.

En primera instancia es importante remarcar que, el desarrollo de la presente tesis se ha realizado en el marco de un proyecto de financiación pública (aprobado por el Ministerio de Ciencia e Investigación y con referencia CIT-440000-2008-4), presentado por el propio Doctorando en base a su proyecto de Tesis. Las motivaciones de ello eran, por una parte, dar viabilidad al desarrollo del trabajo por parte del Doctorando de forma que este pudo compaginar sus tareas de investigación con su trabajo y, por otra parte, profundizar el conocimiento alcanzado mediante un equipo pluridisciplinar que fuera coherente con los planteamientos holísticos planteados. La propuesta aprobada, liderada por el Doctorando a través de su empresa AIGUASOL (<http://www.aiguasol.coop>), contó con la participación de distintos profesionales de ámbitos diversos de la construcción. En concreto:

- ✓ ALIA Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, S.L.(<http://www.alia-es.com/>). ALIA es un despacho de arquitectos, liderado por Emilio Miguel Mitre y Carlos Expósito, y con una amplia experiencia en el sector público y privado de la edificación. ALIA cuenta con una dilatada experiencia en el diseño y evaluación de edificios energéticamente eficientes de uso oficinas, como queda patente en su sitio web.
- ✓ CIMNNE (Centro internacional de métodos numéricos) – BEEGroup (<http://www.cimne.upc.es/web/>). El departamento BEEGroup de CIMNE es un centro de investigación que enfoca sus trabajos en el análisis i seguimiento de la gestión energética de edificios, así como en análisis CFD de construcciones y simulación detallada de fachadas singulares.
- ✓ El Consorci de la Zona Franca (<http://www.elconsorci.net/asp/asp/home.aspx>). Es la empresa gestora de la Zona Franca de Barcelona que, entre otros, promueve y gestiona edificios de uso terciario en distintos ámbitos geográficos de Cataluña.

El desarrollo técnico de la propuesta fue realizado íntegramente por el Doctorando (así como otra propuesta que se hizo en la misma línea pero en el marco de ayudas europeas, y que, pese a ser aprobada técnicamente, no fue finalmente financiada), participando las otras tres empresas solo a nivel administrativo y en el planteamiento de reparto de recursos de financiación. Posteriormente, durante el desarrollo del trabajo aprobado, el Doctorando realizó todas las tareas de planificación y coordinación del mismo, orientando los trabajos de las tres empresas co-participantes a tareas técnicas o administrativas acotadas y relacionadas con sus respectivas competencias profesionales. De esta manera, se esquematiza la colaboración según:

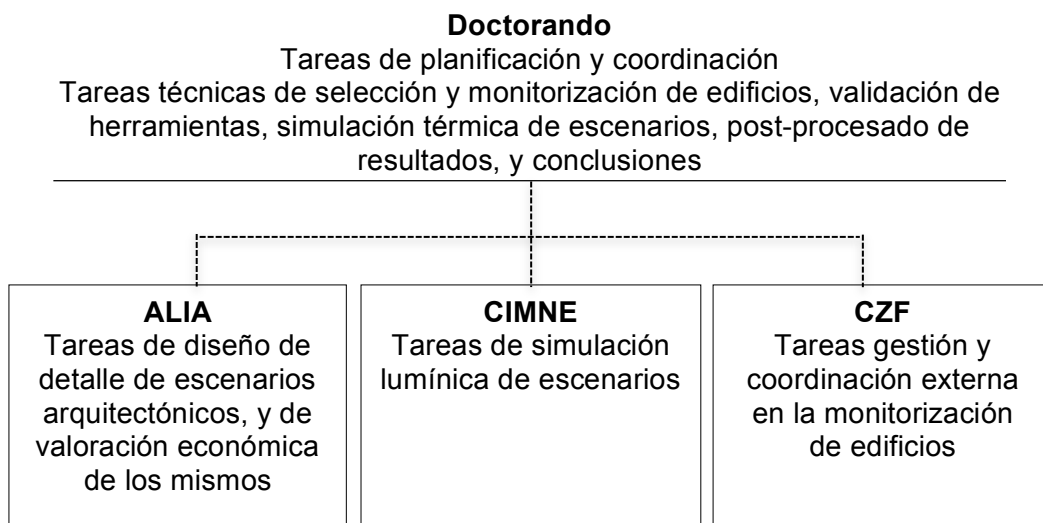


Figura 1. Esquema de colaboración en el desarrollo del trabajo. Fuente: Elaboración propia.

Se sobrentiende que las distintas tareas mencionadas no han sido totalmente estancas, quedando reflejado en recomendaciones y necesidades por parte de los equipos que han permitido, no solo seguir el principio de trabajo holístico, si no enriquecer los resultados finales obtenidos.

Por otra parte, el trabajo se estructura según un esquema de fases que permite mantener un orden vital considerando la ingente cantidad de información tratada, tanto a nivel de definición del problema, como de resolución del mismo. En base al problema planteado, la evaluación de las directrices energéticas en edificios de oficinas transparentes, es necesario definir y evaluar un conjunto de escenarios que caractericen los edificios de oficinas transparentes y que, con ello, permitan obtener conclusiones tanto de sus bondades como de sus problemáticas inherentes, que sean útiles a los equipos proyectistas, así como a otros actores del proceso (desde los promotores, a los usuarios finales).

Estas fases, compuestas de distintas tareas específicas, se resumen en:

- ✓ Fase 1 – Posicionamiento y definición detallada del problema. En donde se da cuenta de los factores reales que afectan a este tipo de edificios, se calibran las herramientas de simulación y se definen, de forma detallada, los escenarios de análisis.
- ✓ Fase 2 – Determinación del comportamiento de escenarios. En donde se resuelven los comportamientos energéticos, económicos y de confort que caracterizan cada uno de los escenarios planteados.
- ✓ Fase 3 – Análisis de modelos de gestión y uso de los edificios. En donde se plantean, sobre los casos originales, modelos de gestión y operación energéticamente eficientes, y se evalúan desde la vertiente energética, y económica, con el fin de comprobar las tendencias resultantes.

Estas tres fases de trabajo resultan abiertas y lineales, en cuanto de los resultados de la primera, se evalúan las entradas de la segunda, e igualmente entre esta y la tercera, aunque se extraen conclusiones de las tres. Todo ello se puede esquematizar según:

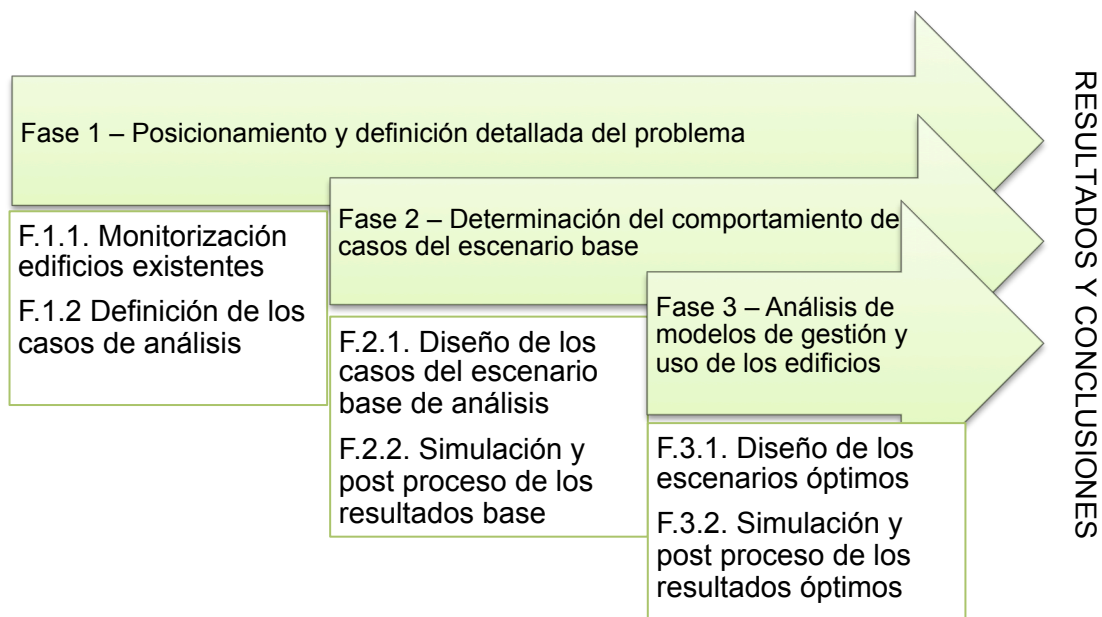


Figura 2. Esquema de trabajo según fases y tareas. Fuente: elaboración propia

Cada una de estas tareas que conforman las tres fases de trabajo, se caracterizan por:

- ✓ Fase 1 – Posicionamiento y definición detallada del problema.
 - F.1.1. – Monitorización de edificios existentes. En la que se ha monitorizado el comportamiento térmico y lumínico de espacios tipo (zonas representativas) en 6

edificios de oficinas, con distintas soluciones de envolvente, de Barcelona y se han realizado encuestas de comportamiento tanto a los usuarios, como al personal de mantenimiento. Técnicamente esta tarea ha permitido valorar las herramientas de simulación, para asegurar los modelos e hipótesis que eran capaces de reproducir escenarios concretos, así como determinar fehacientemente problemáticas concretas reales. Igualmente, aunque difícilmente cuantificable, el hecho que los distintos profesionales hayan visitado, al menos una vez, los escenarios de monitorización, ha permitido generar una perspectiva más integral de la problemática.

- F.1.2. – Definición de los casos de análisis. En base al planteamiento inicial del análisis, así como a realidades obtenidas de la tarea precedente, y a planteamientos transversales entre los equipos de trabajo, se han definido y ordenado los distintos casos de análisis. Aunque principalmente se ha enfocado esta tarea a los denominados “casos base”, también se han planteado algunas de las casuísticas de los denominados “casos optimizados”. A pesar de ello, y para una mayor comprensión global, la descripción y el detalle de estos últimos queda relegado a la fase 3.1 correspondiente.
- ✓ Fase 2 – Determinación del comportamiento energético de casos del escenario base.
 - F.2.1. – Diseño de los casos del “escenario base” de análisis. En base a los planteamientos de la tarea anterior, se han descrito, en detalle, tanto las soluciones arquitectónicas, constructivas y de sistemas energéticos a evaluar, como los modelos matemáticos de las herramientas de simulación dinámica que caracterizan a cada uno de estos casos, y cada uno de los parámetros que afectan a la determinación del comportamiento energético, económico y de confort térmico y lumínico de los mismos.
 - F.2.2. – Simulación y post-proceso de los resultados base. En esta fase se simulan los distintos modelos que caracterizan los casos definidos mediante herramientas de análisis dinámico que permiten establecer el comportamiento energético (térmico y lumínico) de cada uno de los edificios planteados. Los resultados obtenidos, demandas y consumos energéticos, y confort térmico y lumínico, se post procesan tanto para obtener las evaluaciones económicas asociadas, como para ordenar los resultados par que sean comprensibles.
- ✓ Fase 3 – Análisis de modelos de gestión y uso de los edificios.

- F.3.1. – Diseño de los “escenarios óptimos”. Dada la gran influencia de la envolvente de los edificios para los casos analizados, en esta tarea se definen los denominados “escenarios óptimos” en los que, en base a las soluciones arquitectónicas, constructivas y de sistemas energéticos originales, esto es los casos del “escenario base”, se han evaluado sistemas domóticos de control de elementos de sombra, tanto desde la vertiente térmica, como lumínica. Dada la cantidad de casos previstos, se selecciona una muestra representativa de los originales con los que trabajar. Con todo ello se pretende analizar soluciones a los problemas de sobrecalentamiento y deslumbramientos que caracterizan los “escenarios base”.
- F.3.2. – Simulación y post proceso de los resultados óptimos. De forma análoga a la tarea F.2.2, en la presente se simulan y post procesan los resultados obtenidos utilizando las mismas variables de análisis que en la fase previa. Ello permite, finalmente, un análisis cruzado de casuísticas entre los casos comunes entre el “escenario base” y los “escenarios optimizados”.

Fruto de esta ordenación y metodología de trabajo, se obtiene la radiografía que caracteriza la problemática planteada, y se obtienen las conclusiones de la presente Tesis.

Cabe remarcar, de manera específica, que la metodología aplicada se ha desarrollado bajo la normativa vigente en el momento del análisis, esto es, el Código Técnico de la Edificación, en su versión 2007 [CTE, 2007]. Ello no era tanto una premisa del análisis, sino un punto de partida, en cuanto algunos de los análisis desarrollados evalúan, en cierta medida, el efecto de la aplicación de la norma en esta tipología concreta de edificios. Igualmente, el problema analizado hace referencia, en general, a edificios de oficinas con elevadas proporciones de huecos en clima Mediterráneo, tanto para construcciones de obra nueva como existentes. En este sentido, el hecho de utilizar la referencia normativa obedece a la necesidad de normalizar los escenarios a un marco comparable entre ellos. Efectivamente, el análisis no pretende ni analizar tipologías edificatorias en función de su época constructiva, ni considerar las infinitas variantes de ocupación, uso y gestión de los edificios de oficinas (tantas, como edificios de este uso existan), sino realizar un análisis comparado a igualdad de condiciones. Por ello, se utiliza la referencia normativa vigente en el momento del desarrollo de los análisis.

Sin embargo, recientemente ha aparecido la actualización del mismo [CTE, 2013] que introduce algunos cambios relevantes. En concreto, y para el caso que atañe, la nueva versión del capítulo HE introduce un limitante en la potencia de iluminación y la

obligatoriedad de que éstos estén calificados como letra B. Aunque ello pueda parecer un detalle técnico, tiene una implicación directa en los resultados absolutos obtenidos, esto es, en los valores concretos. De esta forma, algunos de los resultados presentados podrían resultar significativamente más elevados y no cumplir con la vigente normativa.

Sin embargo, no se ha planteado el hecho de volver a simular y analizar todos los escenarios puesto que, como ya se ha indicado, tanto los objetivos como las conclusiones están fundamentados en análisis comparativos entre escenarios, y no en el detalle concreto de estos. Dicho de otra forma, los valores concretos no resultan relevantes en si mismos, sino en la comparación relativa entre ellos.

En este punto tampoco se ha comprobado que las tendencias obtenidas no varían de forma relativa al aplicar los nuevos condicionantes normativos. Efectivamente en la actualidad, y como se explica en el capítulo de futuros desarrollos, se está realizando un análisis ampliado de la casuística para el ámbito de Madrid [TOBEEM, 2013] en el que se realizó esta valoración, y se obtuvieron idénticas tendencias. Como ilustración de ello se muestra, a continuación, la comparativa entre el análisis de una serie de casos definidos en el mencionado trabajo tanto bajo la referencia CTE 2007, cómo para la referencia CTE 2013.

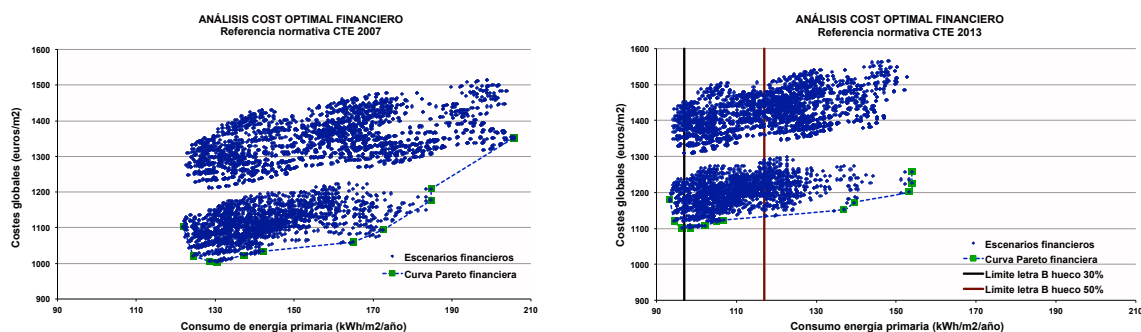


Figura 3. Análisis de coste óptimo Financiero para un escenario normativo CTE 2007 (izda) y CTE 2013 (dcha) con los límites de letra B marcados según proporciones de hueco en fachada. Fuente: TOBEEM 2013.

En estas representaciones gráficas, se muestra la relación entre consumos de energía primaria (de calefacción, refrigeración e iluminación) con los costes globales (entendidos estos según la definición de la EPBD 2013). Este análisis referenciado, aunque varía del presentado en la presente Tesis en elementos como los precios de combustibles (actualizados) o los tipos de casos estudiados (definidos en más detalle), resulta perfectamente comparable en relación a lo que se pretende constatar. Efectivamente, en las imágenes se puede apreciar cómo la distribución de puntos resulta análoga para ambos escenarios produciéndose, para el escenario CTE 2013, una compactación de resultados

(fruto de la menor intensidad en consumo directo de iluminación, y la reducción de los consumos de refrigeración de forma indirecta), así como un corrimiento de los mismos a regiones de consumo de energía primaria más reducido. A pesar de estos efectos, y sin entrar en detalle en este análisis, la valoración muestra que las tendencias por las principales variables (fachadas, proporciones de hueco, elementos de sombra, etc.), resultan idénticas para ambos casos, variando principalmente el orden de magnitud o los valores absolutos.

CAPÍTULO 1.5. ESTRUCTURACIÓN DE LA MEMORIA

La presente memoria se estructura en 5 capítulos que se desarrollan de la siguiente manera: En el Capítulo 1 se describe tanto las referencias como motivación que han conducido al Doctorando a realizar el presente trabajo. Igualmente se da cuenta de cuál es la problemática concreta de análisis y sus objetivos desde distintas perspectivas. Dichos objetivos comprenden, no tan solo los directamente relacionados con el trabajo presentado, sino aquellos derivados del mismo a los que los resultados y conclusiones puede contribuir. En última instancia, y más allá de las aclaraciones presentes, el capítulo describe la metodología de trabajo utilizada, tanto desde la vertiente de la organización de los distintos actores que han contribuido al mismo, como desde la perspectiva de la estructuración y el trasfondo de cada una de las tareas que componen el análisis.

A continuación, en el capítulo 2, se describe el estado del arte de las distintas materias consideradas en la presente Tesis. En el mismo se referencia, como elemento principal, los distintos avances y realidades de la energía en el sector de la construcción, y específicamente en el de edificios de oficinas. Igualmente se referencia el concepto de sostenibilidad su aplicación a metodologías de trabajo, procesos y productos, prestando especial atención a su aplicación en el sector de la edificación.

En este mismo capítulo se procede a describir el estado del arte de aquellos elementos que, siendo más técnicos, conforman el núcleo del trabajo. Así se valoran los progresos de la concepción del edificio como un sistema, y de los parámetros principales que lo definen, se analizan y valoran distintas herramientas de simulación dinámica existentes actualmente, y se establecen las virtudes y defectos de los modelos de perfiles de uso y gestión de los edificios, como variable principal en el comportamiento energético de los mismos.

La metodología de trabajo utilizada en la presente Tesis, se describe en el Capítulo 3.

En este se detallan todos los pasos seguidos en el análisis, así como las condiciones e hipótesis de detalle establecidas. Debido a la gran cantidad de variables en juego, que permiten tanto establecer un marco concreto de trabajo, como interpretar correctamente los resultados, se ha tenido un especial cuidado en estructurar este capítulo para que sea de fácil comprensión para el lector.

De esta forma, en este capítulo, se plantean tanto los distintos pasos dados en la selección y monitorización de edificios de referencia, como al establecimiento y descripción de los modelos que definen los edificios o escenarios de análisis, o los parámetros de post proceso de resultados.

En el capítulo 4 se da cuenta de los resultados obtenidos para los distintos análisis, tanto de los denominados “escenarios base”, como de los “escenarios optimizados”, y bajo una triple perspectiva energética, económica y de confort térmico y lumínico. Más allá de los resultados específicos de cada paquete de escenarios, a nivel de detalle, pero sobretodo global, se establecen comparativas entre ellos que enriquecen la lectura de los mismos.

En base a todo ello, en el Capítulo 5, se definen las conclusiones de la presente Tesis derivadas del análisis de la problemática planteada inicialmente. Dado el planteamiento del trabajo, las conclusiones hacen referencia a la globalidad del análisis sin centrarse en escenarios concretos de detalle, entendidos como puntos concretos, que si bien pueden aportar información interesante, desdibujan la visión global que se pretende. Las evaluaciones y valoraciones de detalle más relevantes se presentan en los anexos del documento.

CAPÍTULO 2. ESTADO DEL ARTE

El alcance de la temática de la presente tesis, recomienda un ejercicio de focalización del análisis, así como la síntesis de otros elementos relacionados pero que no se consideran objetivos directos. Tanto el sector de la construcción, en general, como el de la edificación sostenible, en particular, se conforman de múltiples temáticas y áreas de conocimiento que van desde la arquitectura y la ingeniería, hasta los comportamientos sociológicos o los mercados energéticos. El ámbito de la tesis corrobora lo dicho ya que, la misma no se centra en un único factor de la edificación, sino que se propone alcanzar un conocimiento sistémico que requiere de una visión holística.

Aunque el objetivo final de la tesis es alcanzar el conocimiento que pueda cimentar las bases de una construcción sostenible de edificios de oficinas en un clima Mediterráneo, hay que considerar como objetivo primigenio el desarrollo de metodologías de trabajo, en las fases de diseño y uso de los edificios, basadas en herramientas de soporte y decisión, y a conceptos de trabajo transversal. Considerando esto, es necesario establecer aquellos factores que tengan un mayor peso en esta tipología de edificios, y para estos objetivos. En este sentido mencionar que se tiene conocimiento de otros factores que pueden tener un peso en el análisis desarrollado, de los que destacan las patologías de la construcción. Dichas patologías, derivadas de una ejecución deficiente de las obras o de un pobre mantenimiento, pueden reportar variaciones significativas en las demandas térmicas y limitar el comportamiento de las potencias de las instalaciones, derivando en escenarios de discomfort de los usuarios [Wilkinson, Reed and Jailani, 2011]. Ello, sin embargo, escapa al ámbito de la presente tesis por ser un factor local muy dependiente de la realidad de los profesionales de la ejecución de cada región, con efectos muy variados en función de las condiciones climáticas locales, y por tratarse de carencias de la obra y el mantenimiento, y no del diseño inicial de los edificios. En última instancia, se considera que esta problemática debería ser el foco de otra tesis doctoral.

Las consideraciones anteriores se han valorado en la definición de la estructura y los contenidos del presente capítulo, buscando el equilibrio entre la visión global y el detalle de los conceptos técnicos y tecnológicos que se muestran relevantes en el desarrollo de la tesis. En este sentido, el presente capítulo se estructura según:

- ✓ Energía y edificación. En donde se lleva a cabo un análisis del estado del arte del sector de la edificación en relación al consumo energético.
- ✓ Visión sostenible en el diseño y uso de los edificios. Donde se enumeran los conceptos que conforman el marco de la sostenibilidad en el sector de la edificación, y la

potencialidad de las distintas herramientas existentes en este marco, como modelos transversales y participativos.

- ✓ El edificio sistema. En donde se valoran los principales parámetros a considerar en el desarrollo técnico de tesis, y su interrelación.
- ✓ Programas de simulación dinámica del comportamiento energético de edificios. En donde se analizan las distintas herramientas existentes capaces de llevar a cabo análisis como el de la presente tesis.
- ✓ Modelos de predicción de uso y gestión de los edificios. En donde se repasa el estado del arte de dichos modelos, considerando la relevancia que los usuarios y equipos de gestión de edificios tienen en el comportamiento energético de los mismos.

Existen otras variables que, en mayor o menor medida, juegan su papel en el análisis desarrollado. Sin embargo, y con el fin de delimitar la problemática y trabajos descritos, se considera la mención de las mismas de forma integrada en los distintos capítulos.

CAPÍTULO 2.1. ENERGÍA Y EDIFICACIÓN

De entre todos los sectores energéticos que configuran el panorama energético actual, tanto a nivel nacional como europeo, los que presentan los síntomas más preocupantes de crecimiento de consumo energético y, por otra parte, resultan más difíciles de controlar por su carácter difuso, son la edificación y el transporte.

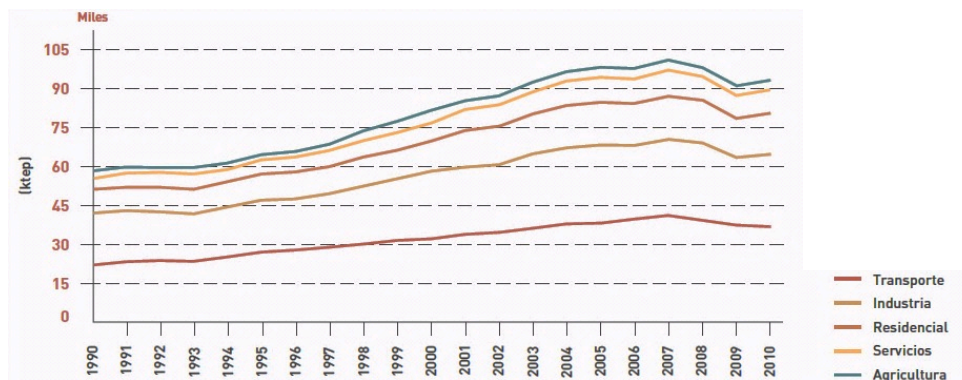


Figura 4. Evolución del consumo final de energía por sectores. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011].

El análisis de la evolución del consumo energético en el estado español se ha caracterizado, en los últimos años y sin entrar a valorar el efecto de la crisis iniciada en 2008, por un crecimiento sostenido del consumo de energía primaria. Ello es debido, principalmente, a una fuerte dependencia de los combustibles fósiles, mayoritariamente provenientes del

exterior, y a un preocupante incremento de la intensidad energética en demanda, derivando en un elevado impacto medioambiental y costes económicos asociados [MITYC, 2007b]. Como ejemplo de la no sostenibilidad es posible señalar las emisiones de CO₂, principales causantes del cambio climático que, durante el año 2004, superaba en un 41% el objetivo con que España se comprometió para 2010 mediante la firma del protocolo de Kyoto [García Casals, 2007].

Aunque en los últimos lustros se han desarrollado medidas para limitar el impacto ambiental del consumo energético, estas han resultado más concretas en las fuentes denominadas estacionarias (centrales eléctricas, refinerías, hornos industriales, etc.) que para los sectores denominados difusos, de la edificación y el transporte, debido, en parte, a su atomización. En el estado español, estos sectores consumían, en 2010, el 26.9% (edificación) y el 39.3% (transporte) de la demanda global de energía final, siendo los únicos sectores de crecimiento relativo continuado en los 20 años [MITYC, 2011].

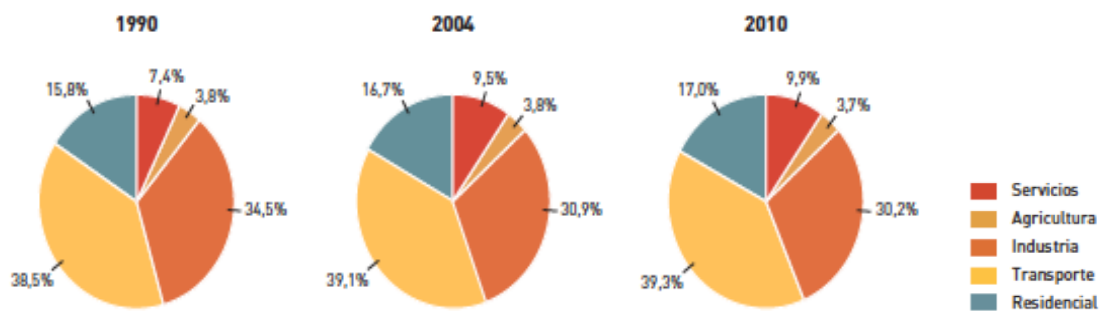


Figura 5. Evolución de estructura sectorial de la demanda de energía final. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011]

Estos mismos problemas, que se detectan igualmente en los países del entorno económico, ha generando un consenso sobre la falta de sostenibilidad energética, económica y política del modelo actual. Ello ha fomentando un nuevo paradigma [CE, 2008] que, en el caso de la edificación, desembocó en la Directiva sobre el comportamiento energético de edificios (EPBD en sus siglas en inglés) en 2002 (actualizada en 2010 [EPBD, 2010]), y su transposición en el estado español mediante el Código Técnico de la Edificación (CTE en sus siglas) aparecido en 2007, y actualizado en 2013 [CTE, 2013]. Mención aparte merecen el Plan de ahorro y eficiencia energética 2011-2020 [MITYC, 2011], así como el Plan de energías renovables 2011-2020 [MITYC, 2010] que, aunque siendo aprobado por el Consejo de Ministros en 2011, han sido rebatidos por la Comisión europea tanto en su contenido, como en su aplicación.

Por otra parte, y como caracterización específica del sector, es necesario considerar la estructura del parque edificatorio en relación a la vida útil de los edificios. De esta forma, y para el global del parque edificatorio del estado español, el 32% del parque pertenece a edificios construidos antes de 1960, un 41% a edificios construidos en el periodo de 1961 a 1990, y el 27% restante a edificios del periodo 1991 a 2010 (en el caso de los países del sur de Europa en el ámbito Mediterráneo, Grecia, Malta, España e Italia, estos porcentajes se distribuyen en un 37%, 49% y 14% respectivamente) [BPIE, 2011]. Más allá de las patologías propias del paso del tiempo en los edificios, la vinculación de la edad de los mismos a las normativas vigentes en el momento de su construcción, resulta en un panorama de elevada ineficiencia energética, y en una fuerte hipoteca al sector energético. Este factor, que actualmente se está intentando abordar tanto desde la normativa de certificación de edificios existentes [MPR, 2013], como a actuaciones concretas de subvenciones a rehabilitación [MITYC, 2013], también debe ser considerada en el diseño de nuevos edificios, para minimizar la reproducción de errores en su proyección a futuro, tal como se establece en la nueva Directiva EPBD según la metodología *cost optimal* [CE, 2013].

En este contexto, la demanda energética actual asociada al sector de la edificación está claramente por debajo de la demanda potencial del sector, en parte por la falta de mecanismos de la internalización del vector de confort en la misma y, recientemente, como reflejo de la denominada pobreza energética fruto de la crisis económica actual. Las valoraciones oficiales (16% del consumo del estado español), quedan significativamente por debajo de los valores medios europeos destacados en las Directivas 91/76/CEE, sobre eficiencia energética, y 2002/91/CE, sobre eficiencia energética en la edificación, en la que las cifras alcanzan valores de hasta el 40%. En el objetivo de reducción del consumo energético asociado al sector de la edificación, deben valorarse los estándares de confort, tanto desde la perspectiva primigenia del usuario, como para cimentar los pilares de un consumo eficiente en un marco económico mejor que el actual.

Para ello resulta crucial entender las singularidades del sector, tanto en su distribución en subsectores, como en los consumos específicos en estos. En el año 2010, la distribución de superficie construida en el estado español se podía resumir según,



Figura 6. Distribución de superficies construidas (m²) según usos de los edificios. Fuente: BPIE [BPIE, 2014]

En donde se aprecia que el sector residencial copa, aproximadamente, más del 85% de la superficie construida. Sin embargo, y aunque en valor absoluto global el subsector residencial es un gran consumidor, a nivel relativo el resto de subsectores tienen intensidades energéticas asociadas mayores.

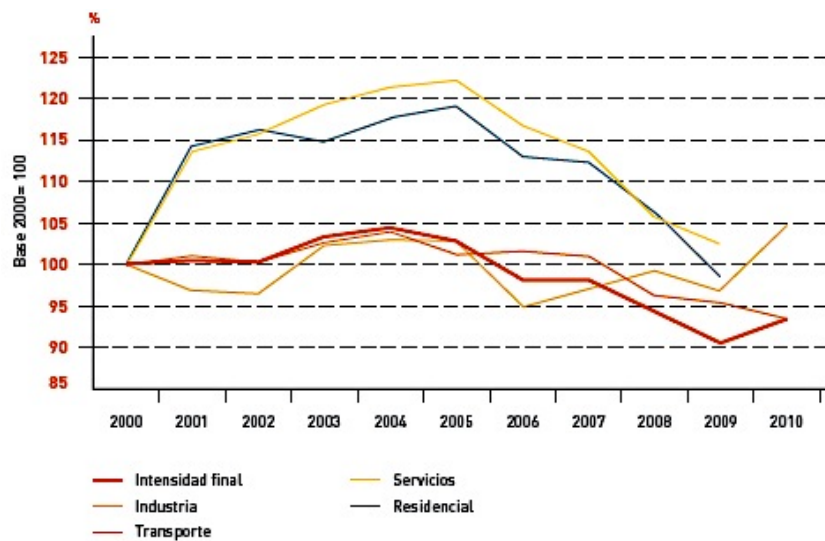


Figura 7. Intensidad final y sectorial en el estado español. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011]

Analizando en más detalle los consumos energéticos de los distintos subsectores no residenciales, es posible comprobar como los edificios de uso oficinas resultan los principales consumidores copando más del 40% del consumo no residencial.

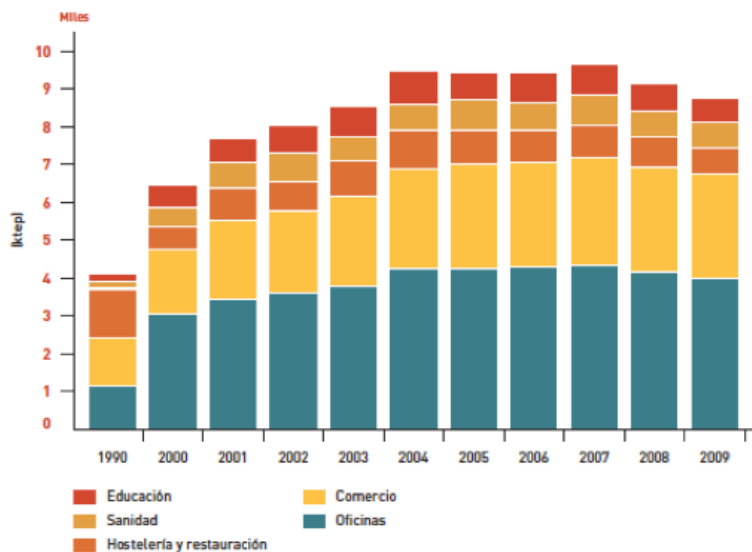


Figura 8. Evolución del consumo del sector Servicios en el estado español. Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011]

Además el subsector de oficinas es el principal exponente de dos factores que deberían condicionar la evaluación del vector energético. Por una parte, los edificios de oficinas suelen construirse bajo un marco en el que, el promotor es, o bien el usuario final, o bien el propietario final que arrenda, bajo distintas formulas, a terceros. Ello implica que la factura energética del edificio de oficinas repercute, en muchos casos, al responsable último de la construcción del mismo. Por otra parte, y en mayor o menor medida derivado de lo primero, el subsector de edificios de oficinas ha empezado a vincular fuertemente el negocio a la eficiencia energética de los edificios [Pentland, 2012], pasando a ser este uno de los principales condicionantes del Real State y valorado fuertemente por los fondos de capital. Como muestra de ello, los edificios de oficinas con certificación medioambiental privada han aumentado exponencialmente en los últimos años.

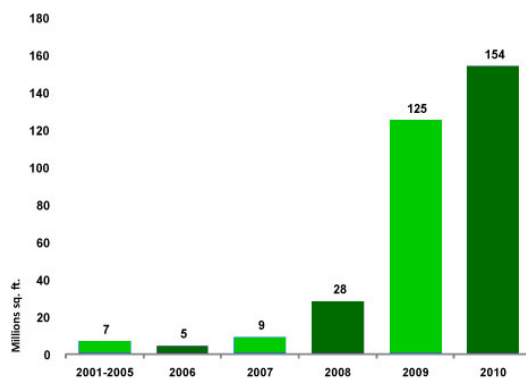


Figura 9. Evolución de la superficie (pies cuadrados) de edificios de oficinas certificados LEED Gold en el mundo. Fuente: USGBC 2011

Estos factores, que actúan como motor de cambio real más allá de las normativas, se dan también en otros subsectores no residenciales del ámbito privado, en especial en los hoteles, con sellos específicos [Travelife, 2014], que han generado que operadoras como TUI, creen circuitos especiales para clientes dispuestos a pagar hasta un 8% de más por noche, a cambio de pernoctaciones en establecimientos que tengan consideración con el medioambiente. Igualmente resulta fundamental establecer el marco de consumos por usos, con el fin de entender la problemática del sector de la edificación y de sus subsectores relevantes. Los datos oficiales más recientes muestran una distribución muy desigual en consumos por usos en función de la actividad principal del edificio.

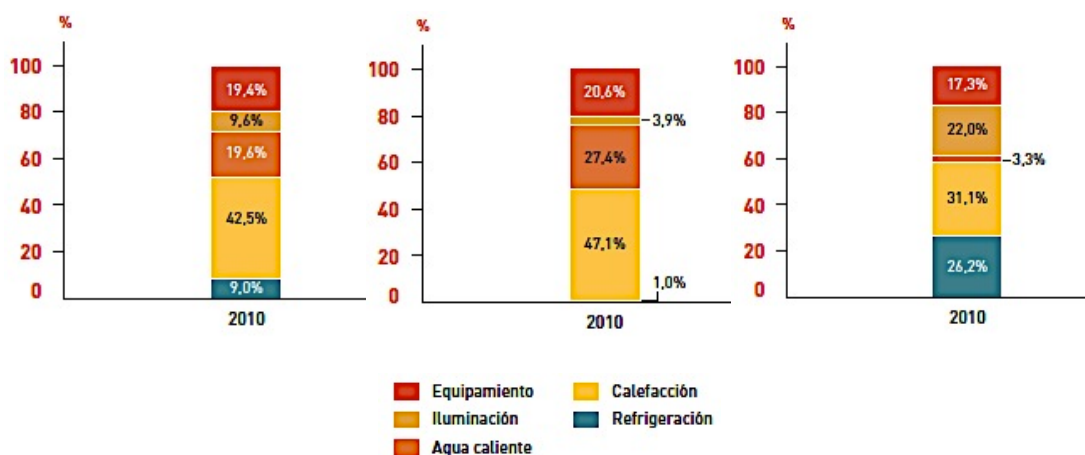


Figura 10. Distribución de consumos por usos en 2010 para el global de la edificación (izquierda), para el subsector residencial (centro), y para el subsector servicios (derecha). Fuente: IDAE 2011 [MITYC, 2011]

De esta forma, en el subsector residencial la calefacción resulta el consumo principal (más del 47%), y la suma de esta junto con el agua caliente y los equipamientos representan más del 95% del consumo global. Sin embargo, y para el subsector servicios, la calefacción, aunque relevante, baja su peso hasta el 31%, y parecen la refrigeración (24%) y la iluminación (22%) como consumos principales. Destacar que, a excepción de los equipamientos, el resto de consumos quedan fuertemente condicionados por el diseño de los edificios en el clima en el que se encuentran, así como por su uso específico, de manera que la comparativa mostrada entre residencial y servicios debería ser matizada bajo esta doble perspectiva, echo que forma parte de las motivaciones de la presente tesis.

Efectivamente, y en el ámbito de los edificios de oficinas, existe poca información de detalle sobre la problemática en el consumo energético asociado al subsector, más que a edificios concretos, para nuestra latitud y desde una visión holística. De esta forma, en los últimos años se encuentran varios análisis para edificios de oficinas pero enfocados a

elementos singulares como iluminación [IDAE, 2011; Chen, Li, Shao y Chan, 2007; o Kabir, Mohammadi, Mahdavi y Pröglhöf, 2007], los elementos de sombra [Mohammadi, Kabir, Mahdavi y Pröglhöf, 2007; Arch y Mardaljevic, 2005; o Park, Augenbroe, Sadegh, Thitisawat y Messadi, 2003], o el confort de los usuarios [Chávez, 2002; Jelsma, Kets, Kamphuis y Wortel, 2002; o Wilkinson, Reed y Jailani, 2011], que abordan problemáticas concretas sin consideración de otros elementos. Igualmente existen trabajos más enfocados a divulgación para actores del ciclo de vida de los edificios de oficinas, en formato de guías cualitativas de buenas prácticas fundamentadas en datos estadísticos o experiencias concretas [WWF, 2008; Fenercom, 2007; o The Economist, 2012]. En última instancia, se encuentran ejercicios más holísticos y metodológicamente detallados sobre el comportamiento energético de edificios de oficinas, aunque para otras latitudes que, bien por condiciones climáticas [Poirazis, 2004; Poirazis, 2005; y Poirazis, 2008], bien por normativas y realidades socioculturales [Shaviv, Yezioro y Capeluto, 2005], derivan en resultados y conclusiones difícilmente aplicables en nuestro entorno.

En el marco establecido, se requieren mecanismos adicionales que incidan en un uso más racional de la energía por parte de los ciudadanos y a distintos niveles. El desarrollo económico resulta compatible con la mejora de la eficiencia energética y el ahorro, siendo ello, además, necesario para una mejor redistribución de los recursos energéticos existentes, para un menor impacto medioambiental, y para una mejora en la balanza de pagos país. Por ello es preciso aplicar a la energía el concepto de sostenibilidad en su sentido más amplio. Las acciones que, desde el ahorro y la mejora en la eficiencia energética y desde la vertiente de la demanda, pueden aplicarse al modelo energético actual, se fundamentan en soluciones existentes, y están estrechamente asociadas a la naturaleza de cada sector o actividad concreta. Dichas acciones incluyen las normas o estándares de eficiencia, auditorías energéticas, campañas de información, divulgación y concienciación, incentivos financieros y fiscales, planificación de infraestructuras, acuerdos voluntarios entre administración y empresas, y el soporte a la I+D, tanto en la mejora de soluciones tecnológicas, como en el establecimiento de marcos de detalle que ayuden plantear el problema, como requisito fundamental de su solución. Solo desde esta perspectiva multidisciplinar y considerando las realidades de las distintas actividades y profesionales del sector, es posible establecer no solo una radiografía actual de detalle, si no unos escenarios de futuro más eficientes.

CAPÍTULO 2.2. SOSTENIBILIDAD EN EL DISEÑO Y USO DE LOS EDIFICIOS

2.2.1. LA CONCEPCIÓN SOSTENIBILISTA

La sostenibilidad, más allá de un concepto, debe poder valorarse y evaluarse considerando los distintos aspectos que derivan de ella. Respecto a ello existen distintas propuestas, formuladas por varios organismos, que pueden ayudar a aclarar los distintos aspectos que intervienen en la sostenibilidad de cualquier proceso, incluido el de diseño y construcción de un edificio.

Algunas de las más reconocidas han sido analizadas y comparadas entre si [Labuschagnea, Brenta y Erck, 2003]. En este sentido, uno de los marcos más reconocidos es el generado por la UNEP (Programa medioambiental de las Naciones Unidas, en sus sigas en inglés) conjuntamente con CERES (Coalición para economías medioambientalmente responsables, en sus siglas en inglés), bajo el nombre de Iniciativa de informe global (GRI en sus siglas en inglés). El GRI plantea una estructura jerárquica de categorías, aspectos e indicadores.

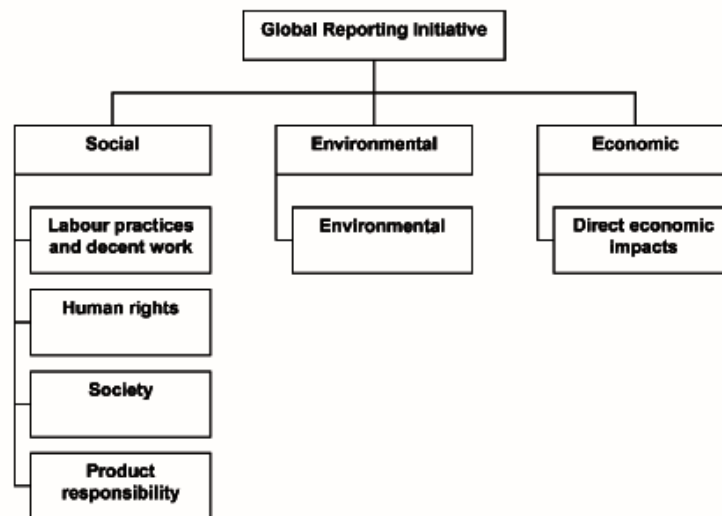


Figura 11. Estructura sostenibilista presentada por el GRI. Fuente: [GRI 2002]

En la misma línea de trabajo, la Comisión de las Naciones Unidas del Desarrollo Sostenible (CSD en sus siglas en inglés), definió un marco de indicadores de sostenibilidad para poder evaluar las acciones de los gobiernos [CSD, 2001]. A pesar que el marco establecido difiere de acciones a nivel empresarial o, sobre todo, de proyectos concretos, los conceptos globales que presenta son válidos y adaptables a todos los niveles.

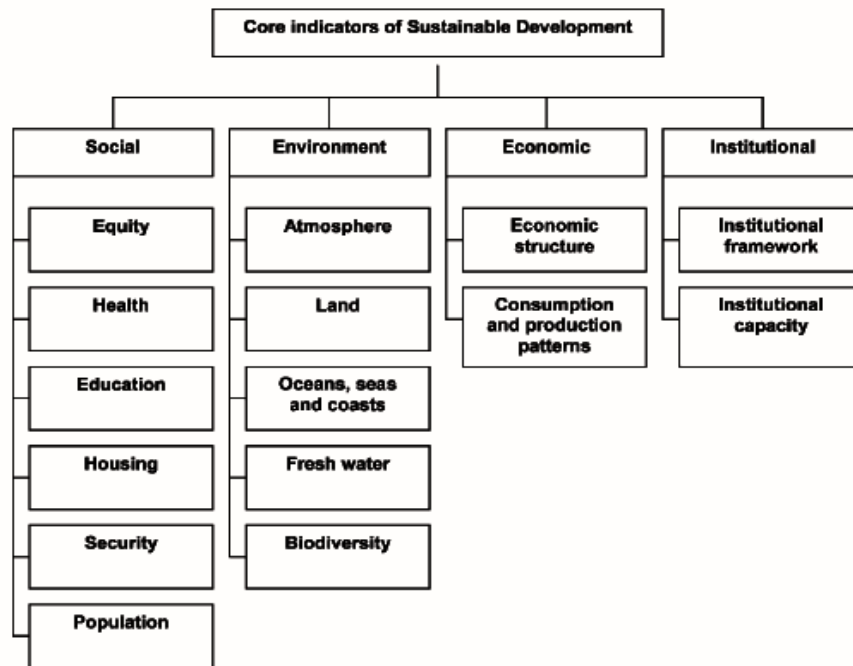


Figura 12. Estructura sostenibilista presentada por CSD. Fuente: [CSD, 2001].

Igualmente, y tan solo por citar un tercer caso reconocido, el Instituto Wuppertal propuso un marco [Spangenberg y Bonniot., 1998] en el que, partiendo de las 4 dimensiones de la sostenibilidad definidas por el CSD, se añaden indicadores de interconexión entre estas. Dichos indicadores son aplicables tanto a nivel macro (nacionales), como micro (áreas de negocio).

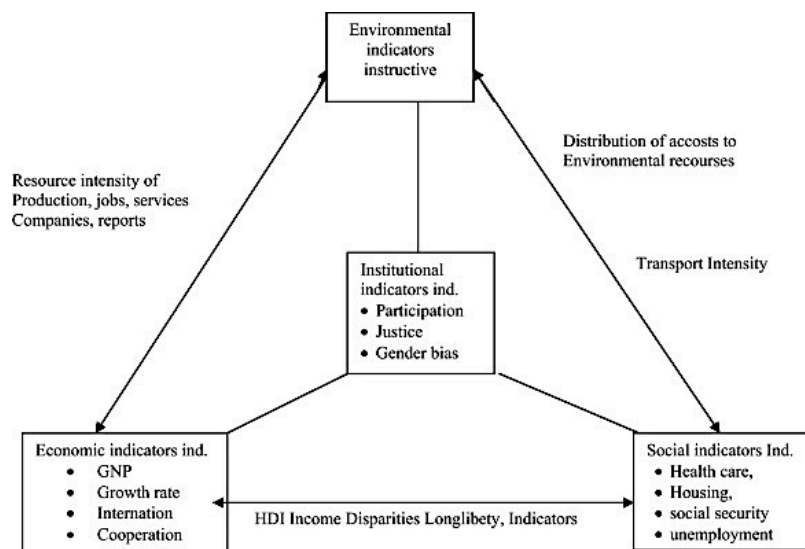


Figura 13. Dimensiones e interconexiones de la sostenibilidad según esquema del instituto Wuppertal. Fuente: [Labuschagne, 2003].

Dichas formulaciones más genéricas, coinciden a nivel de conceptos globales, y se han desarrollado en base a metodologías y criterios de distintas áreas de negocio y tipologías de proyectos.

Bajo otra perspectiva, otros organismos o expertos han ido más allá generando marcos de trabajo más enfocados a la aplicación de la concepción sostenibilista a situaciones cotidianas derivadas de la actividad empresarial o profesional. Una de las iniciativas más reconocidos en este ámbito, y con una mayor trayectoria e implantación geográfica, es la denominada *Natural Step*. El marco para una estrategia de desarrollo sostenible propuesto por el organismo sin ánimo de lucro *Natural Step* proporciona un conocimiento para entender, organizar y gestionar impactos, y provee de metodologías de información cuyo objetivo es determinar que hay que hacer para evitar tropezar con los mismos errores en el futuro. De esta forma, y mediante el desarrollo de principios básicos de éxito desde la perspectiva de conocimiento del sistema, y bajo una planificación sistemática, se evoluciona estratégicamente, y paso a paso, hacia una visión compartida de la sostenibilidad, sin el riesgo de dedicar recursos a elementos secundarios. Es necesario remarcar que esta metodología, cuya finalidad es ayudar en la toma de decisiones clave, se plantea como una herramienta complementaria a los procedimientos integrados de diseño sostenible.

El problema principal al que se enfrenta la metodología del *Natural Step* se fundamenta en la consideración que, en la sociedad actual se dan una serie de premisas (agrupadas en la disminución de recursos y el aumento de población) que derivan en una complejidad inaudita en la toma de decisiones estratégicas en la sostenibilidad. Es el denominado efecto embudo.

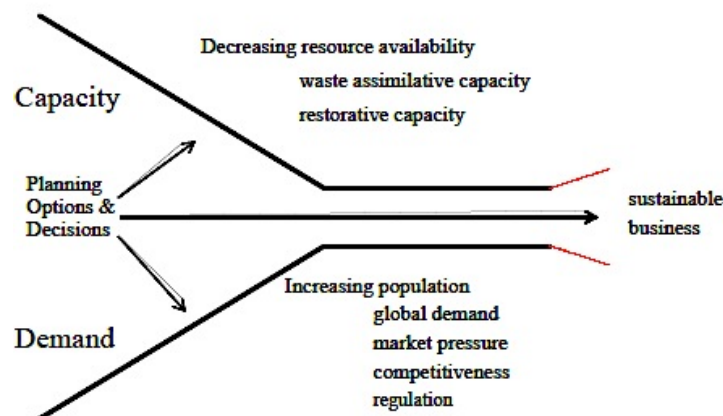


Figura 14. Efecto embudo representando la complejidad de los escenarios determinados por los condicionantes de la sociedad actual. Fuente: [Roberts, 2007].

En una situación como la actual, en la que las tendencias y comportamientos forman parte del problema, una aproximación según previsión, en la que en base a tendencias pasadas se decidan acciones futuras, puede resultar obsoleta.

En este sentido, una aproximación alternativa es el denominado *Backcasting* [Robinson, 1990 - Dreborg, 1996]. El *backcasting* consiste en imaginar el futuro al que se quiere llegar y, desde esta perspectiva, retroceder hasta la posición actual, deshaciendo todos los pasos necesarios para alcanzar la visión de futuro planteada. El uso del *backcasting* en problemas bajo el prisma de la sostenibilidad, favorece claramente el éxito en la resolución de los mismos [Holmberg, Robèrt y Eriksson, 1996] ya que aumenta la probabilidad de usar los elementos ecológicamente complejos de una forma coordinada y sistemática, así como de prever ciertos cambios de mercado.

El *backcasting* puede aplicarse considerando dos metodologías distintas: el *backcasting* a partir de escenarios, y el *backcasting* a partir de una visión fundamentada en principios. La primera de las dos, a pesar de ser una herramienta muy potente en formación y muy valiosa a nivel de desarrollos individuales, presenta algunas dificultades en su aplicación en temas de planificación para la sostenibilidad [Roberts, 2007]. En concreto:

- i. Resulta complejo conseguir que un conjunto de personas estén plenamente de acuerdo en un escenario de futuro.
- ii. A menudo aparecen dudas sobre los escenarios de futuro fundamentados en tecnologías actuales que pueden quedar desfasada con la aparición de nuevas soluciones.
- iii. Puede darse que los escenarios planteados no sean sostenibles [AUMA, 2006].

Con el fin de superar estas barreras, es necesario aplicar la segunda metodología de *backcasting* a partir de una visión fundamentada en principios. En este caso, se trata de no prever todos los elementos en detalle del escenario final, sino considerar que el éxito se fundamenta en una serie de principios más amplios. Esto es, definir cuáles son los condicionantes que derivan en el éxito en base a una serie de principios. Una vez determinados estos, es posible visualizar esbozos de los escenarios de futuro y, en función de la problemática y los intereses, decantar-se por los más convenientes [Roberts, 2007].

Considerando lo anterior, la clave consiste en determinar los principios de éxito para alcanzar la sostenibilidad. Esta tarea, ampliamente analizada por distintos organismos y entes, ha sido descrita por *Natural Step* en base a cuatro condiciones que se deben cumplir para que la sociedad y la biosfera sean sostenibles: Las condiciones de *Natural Step* para la

sostenibilidad. Las tres primeras condiciones describen los mecanismos a través de los que, la especie humana, está deteriorando el funcionamiento de la naturaleza, mientras que la cuarta condición hace referencia a la necesidad humana de alcanzar sus propias necesidades [Holmberg et al., 1996].

“En la sociedad sostenible, la naturaleza no queda sujeta a crecimientos sistemáticos de:

- i. Concentraciones de sustancias extraídas de la corteza terrestre.
- ii. Concentraciones de sustancias producidas por la sociedad.
- iii. La degradación de recursos físicos.

Las personas no deben quedar sujetas a las condiciones que, sistemáticamente

- iv. Minen su capacidad de satisfacer sus necesidades.”

El cumplimiento de estas cuatro condiciones es un requisito básico para alcanzar una sociedad, o sistema, sostenible. Estas condiciones forman una parte integral de un marco de trabajo de planificación estratégica desarrollado por *Natural Step*, y aplicado por múltiples empresas [Electrolux, 1994; Anderson, 1998; Nattrass y Altomare, 2002; Broman, Holmberg y Robèrt, 2000; Leadbitter, 2002; Matsushita, 2002; Robèrt, 2002a; Robèrt, 2002b; Roberts, 2004; Cook, 2004; y otros ejemplos disponibles en www.naturalstep.org.nz], y entes legisladores [Cook, 2004; Robèrt et al., 2004; James y Lahti, 2004], creando, en todos los casos, una visión panorámica sobre múltiples tipologías de problemas relacionados con la sostenibilidad.

Resulta importante remarcar que las cuatro condiciones están formuladas en un formato de negación; no son prescriptivas indicando qué se debe llevar a cabo para alcanzar la sostenibilidad, sino que buscan un entorno más abierto e inspirador incitando al usuario que encuentre su solución, siempre y cuando no vulnere ninguno de los cuatro principios.

El marco de trabajo del *Natural Step* se suele aplicar en cuatro pasos según,

- i. Concienciación. Se trata de alcanzar una comprensión compartida de los principios de sostenibilidad (condiciones del sistema), la situación insostenible actual, y el marco de trabajo. Este paso resulta fundamental en la motivación del personal o los profesionales de un proceso, para que sean partícipes de la urgencia de las acciones, y de los beneficios de las empresas y comunidades derivados de la aplicación de las medidas correctoras. En este sentido, se trata de un proceso transversal y participativo entre los distintos actores implicados.

- ii. Punto de partida. Implica detectar la situación actual, de la organización o actividad, en relación a la definición de sostenibilidad, evaluando de qué formas y hasta donde se está contribuyendo a violar cada una de las condiciones del sistema.
- iii. Creación de una visión. Se visualiza un futuro en el que la organización o la actividad ya no forma parte del problema. Haciendo marcha atrás desde este paradigma, al paso anterior, el de punto de partida, es posible detectar cuales son los pasos necesarios para alcanzar el escenario objetivo.
- iv. Paso a la acción. Diseño de un programa de acción en que se detallen los pasos inmediatos a seguir, así como los futuros. Cualquiera de las actuaciones previstas deben ser validadas respecto a tres cuestiones: a) ¿la acción lleva hacia la visión deseada?, b) ¿se generan plataformas suficientemente buenas y flexibles para futuras inversiones hacia la visión deseada?, y c) ¿proporcionan posibilidades aceptables de un pronto retorno de la inversión?

Evidentemente, la puesta en marcha de estos pasos así como su seguimiento riguroso, requieren de un esfuerzo, un nivel importante de concienciación, y herramientas que posibiliten su aplicación y evaluación detallada para llegar a los resultados esperados, así como distintos niveles de trabajo [Robèrt, 2000; Robèrt et Al., 2002].

Es posible aplicar esta metodología de trabajo a distintos niveles o problemáticas que pueden incluir desde organismos a proyectos concretos, pasando por empresas. De esta forma, la aplicación de estos pasos a nivel de la edificación se ha llevado a cabo y documentado en distintos casos, alcanzando los objetivos inmediatos definidos [Roberts, 2007].

En los últimos años, y más desde el prisma del sector de a edificación, se han ido afianzando otras metodologías que, con mayor o menor integridad en el concepto global sostenibilista, persiguen este mismo paradigma. En concreto destacan, bien por su globalidad o por su ámbito de aplicación, las metodologías *Cradle to Cradle* [C2C, 2014] y *Cost Optimal* [CE, 2013]. *Cradle to cradle*, gestionada a partir de la organización sin ánimo de lucro *The Cradle to Cradle Products Innovation Institute* (en Europa, a través de EPEA) mediante certificados de buenas prácticas, se fundamenta en considerar, desde los primeros pasos del diseño de un producto, estrategia, sistema o política, el ciclo de vida de los productos involucrados para que éste sea equivalente al ciclo de vida que se produce de forma natural en el medioambiente. Esto es, que el balance global de gastos y aportes sea neutro, cuando no positivo.

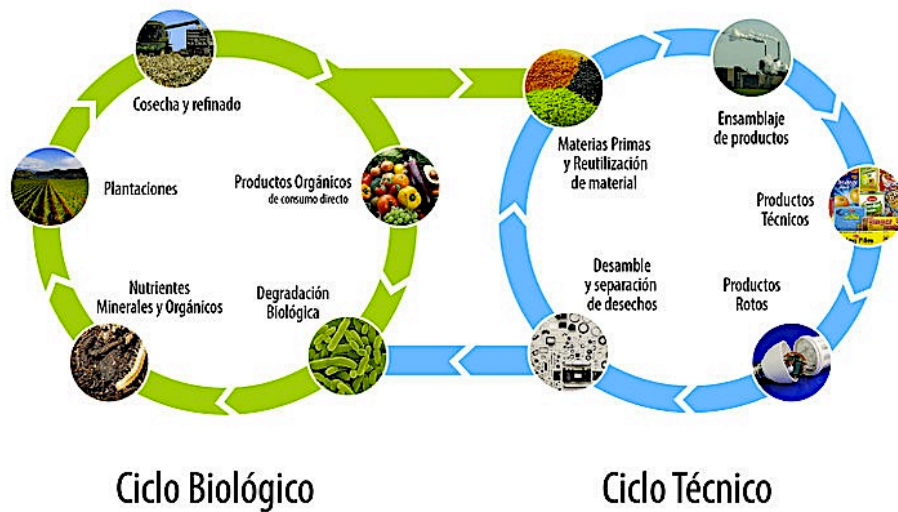


Figura 15. Esquema de los ciclos de vida biológico y técnico propuesto por *Cradle to cradle*, a modo y semejanza del esquema existente en la naturaleza. Fuente: [Passalacqua y Jankelevich, 2012].

Dicha metodología descansa sobre una serie de conceptos clave que se resumen en: a) el uso de energía solar, en vez de energías obtenidas de la corteza o subsuelo, b) el cierre completo de los ciclos de materiales, mediante un reciclaje neto o superior (que el siguiente uso tenga más valor añadido), y c) considerar que la aportación humana es positiva, en contraprestación al sentimiento de culpabilidad que de forma inherente suele comportar el concepto tradicional de ecologismo, con el fin de promover la creatividad. Desde sus inicios, en 2002, la metodología se ha venido aplicando tanto a nivel de materiales (moquetas, vidrios, etc.), como de procesos industriales a productos (zapatos, luminarias, sillas, etc.), o sistemas más complejos como edificios. En este último caso, la metodología completa aún no se ha conseguido aplicar en ningún edificio entero, aunque se está trabajando en la actualidad en el primer caso de referencia [COWI]. Además, la aplicación de productos certificados Cradle to cradle comporta la obtención de créditos extra en la certificación medioambiental LEED [USGBC].

Bajo una perspectiva mucho más acotada, y enfocada específicamente al sector de la edificación, la revisión de la Directiva europea EPBD [EPBD, 2010], de obligada transposición a los estados miembros de la Comunidad Europea, introduce el concepto y los fundamentos de la metodología *Cost Optimal*. Dicha metodología, desarrollada por cada estado miembro bajo las recomendaciones de la propia Comisión Europea [CE, 2013], permite definir una escala de certificación de edificios en la que se considere, a diferencia de las vigentes, no solo el consumo energético asociado al uso de los edificios

en un año tipo, si no la balanza de costes globales vs consumo de energía primaria para el ciclo de vida completo del edificio, y entendiendo los primeros como los costes de inversión, los de operación, mantenimiento y reutilización, así como los de las emisiones de gases de efectos nocivos asociadas al uso de los edificios.

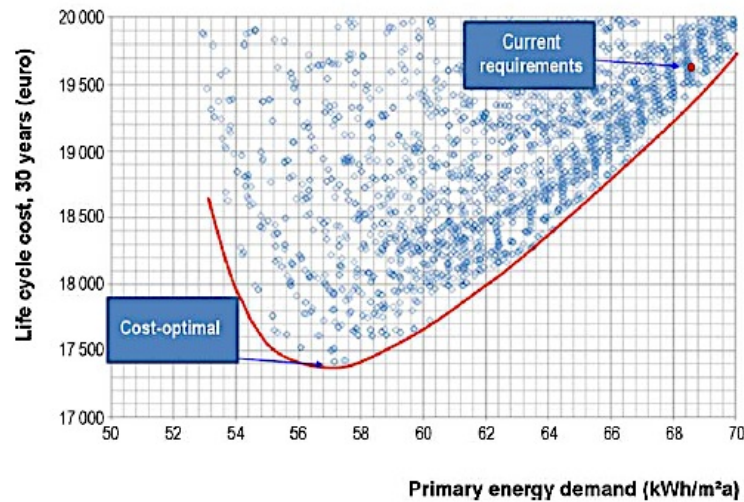


Figura 16. Ejemplo de distintos escenarios (soluciones constructivas, arquitectónicas, de sistemas, etc.) de edificios de un determinado uso (residencial o terciario) con su curva envolvente (Pareto) que permite establecer los objetivos de *cost optimal* (mayor relación energía primaria vs costes globales), y NZEB (mínima energía primaria consumida), en relación a la situación actual (edificios de máxima primaria). Fuente: [Wittchen y Thompsen, 2012].

El procedimiento solo se considera, actualmente, de obligado cumplimiento a nivel de estados, y para obtener premisas que establezcan las nuevas normativas que permitan alcanzar los edificios NZEB en el horizonte de 2020, bajo la mayor eficiencia económica y energética posible. El proceso, de esta forma, no considera particularidades, muy importantes en el sector terciario, si no que genera un marco de referencia global.

A pesar de todo lo descrito, la forma de aplicar todas estas metodologías a casuísticas concretas debe variar notablemente (los condicionantes característicos obligan), y existe una carencia notable de herramientas técnicas que soporten la toma de decisiones, y el control sobre las mismas. El desarrollo de la presente tesis, pretende llenar parcialmente este vacío mediante la obtención de herramientas y metodologías útiles en procesos de edificación sostenible.

2.2.2. TRANSVERSALIDAD Y PARTICIPACIÓN EN PROCEDIMIENTOS DE EDIFICACIÓN SOSTENIBLE

En la aplicación de los distintos procesos y metodologías de consecución de escenarios sostenibles, queda clara la importancia del desarrollo de las mismas bajo los pilares de la

transversalidad y participación de los distintos actores involucrados, cuando no es una norma de obligado cumplimiento en algunas de ellas. La transversalidad, entendida como la colaboración entre especialistas de distintas disciplinas, pasa por ser una condición *sine qua non* en el momento de abordar problemáticas complejas como la planificación, diseño, construcción y uso de los edificios bajo la perspectiva sostenibilista. Igualmente, la participación de otros actores, más allá de los profesionales del diseño y la ejecución, deviene fundamental no solo para alcanzar las condiciones y funcionalidades planificadas, sino en la mejora de esta planificación mediante planteamientos integradores que enriquezcan el proceso y faciliten la sostenibilidad hacia el producto final. En resumidas cuentas, el desarrollo mediante procesos participativos pasa por ser un elemento clave en la consecución real, y no solo teórica, de productos, servicios, políticas y sistemas sostenibles.

La aplicación de la transversalidad y la participación contemplando aspectos que, tradicionalmente, se consideraban externos (aspectos ambientales, sociales y éticos), deriva en un nuevo concepto que se ha llamado *cienciapost-normal* [Funtowicz y Ravetz, 1992]. La ciencia post-normal pretende el enfoque pluridisciplinar de los problemas a analizar, entendiendo que esta es la única manera de superar los posibles efectos nocivos que se derivan de la visión global de las implicaciones de una solución a un determinado problema práctico.

Otros autores, y refiriéndose en concreto a problemáticas de carácter ambiental, describen la denominada Metodología de evaluación ambiental integrada participativa (*Participatory Integrated Environmental Assessment*, en su denominación en inglés), que combina procedimientos de integración de conocimientos diversos, mediante el uso de técnicas cualitativas basadas en el diálogo como forma de participación [Tàbara, 2003].

La ciencia, incluyendo la aplicada y la tecnológica, tradicionalmente se ha debatido sobre temas que no entraban en contradicción con ningún grupo externo de críticos y que suponían, “solo”, la resolución rutinaria de problemas [Kuhn, 1962]. En el momento que los problemas planteados resultan complejos, desde la perspectiva de la implicación de distintas áreas de conocimiento y tanto en su resolución como a distintos niveles de la misma, este enfoque unidisciplinar tradicional parece condenado, al menos a nivel práctico, al fracaso. Ello resulta evidente en el momento de contestar a los problemas actuales desde la vertiente multiconceptual de la sostenibilidad. Tan solo mediante los conceptos de la ciencia post-normal es posible obtener soluciones sostenibles a problemas

tan complejos en el sector de la edificación, tanto a nivel generalista, como caso a caso. Ello ha de permitir, con todo lo que conlleva, el descarte de formulaciones tendenciosas o de resultados inesperados, que deriven en soluciones no sostenibles.

Para la consideración más amplia de este enfoque, es necesario que exista la presencia de expertos complementarios, cuyas raíces y afiliaciones sean independientes de la de los implicados en la creación o regulación principal de los problemas a solucionar [Funtowicz y Ravetz, 1992]. Sin embargo, y de forma complementaria, resulta también necesaria la participación de todos los actores relacionados con el problema a resolver: tanto los que lo plantean, como los que lo deben resolver técnicamente, como los que disfrutarán del resultado en un modelo convencional. Aquellos, cuyas vidas y/o subsistencia dependen de la resolución del problema, tendrán un conocimiento especial de cómo los principios generales se concretan en los “patios de sus casas”. También dispondrán de hechos comprobados, incluyendo anécdotas, análisis informales e informaciones publicadas u obtenidas por medios no oficiales. En este contexto, es factible contrarrestar su carencia de conocimientos específicos, a veces condicionados por sus propios intereses al igual que puede ocurrir en el caso de los expertos que, además, pueden tener carencias de escenarios prácticos reales. De esta forma, no se busca la mejor solución propia, sino la mejor solución conjunta aprovechando la complementariedad de los conocimientos transversales, y las metodologías participativas.

Desarrollada la analogía para el caso de la edificación, la metodología deriva en un trabajo conjunto entre el promotor, los gestores, los equipos de profesionales del diseño (arquitectos, consultores e ingeniería), el personal de mantenimiento y gestión, y los usuarios finales. Por otra parte, y considerando que el sector de la construcción se fundamenta en multitud de técnicas y tecnologías (tanto arquitectónicas, como constructivas o relativas a sistemas energéticos y de agua, cuando no a otras variables como la movilidad en escenarios de urbanismo), la participación y el trabajo pluridisciplinar pasan por ser el camino más eficiente, y a menudo único, hacia una solución sostenible. La no aplicación de estas metodologías, o la mala aplicación de los avances técnicos y tecnológicos, deriva, entre otras, en el que se ha denominado efecto rebote (RE en sus siglas en inglés) [Wigley, 1997].

Aunque existen múltiples definiciones del denominado efecto rebote [Greening, Greene y Difglío, 2000], el concepto que subyace se puede resumir en lo que sigue. El progreso tecnológico procura que los equipamientos resulten más eficientes desde la vertiente

energética; se necesita menos energía para producir la misma cantidad de producto o servicio, utilizando la misma cantidad de equipamientos - *ceteris paribus*. Sin embargo, y debido a que el equipamiento resulta más eficiente energéticamente, el coste por unidad de servicio del mismo cae, y ello suele implicar un aumento del consumo. Parte de las ganancias del *ceteris paribus* se pierde ya que, un aumento en el consumo de servicios conlleva implícitamente, un aumento del consumo energético. Dicha pérdida parcial del consumo energético es lo que se denomina como efecto rebote [Berkhout, Muskens y Velthuisen, 2000], de manera que un efecto rebote del 10%, significa que el 10% de la mejora en la eficiencia energética asociada a la evolución tecnológica, se pierde debido al aumento de consumo del producto.

La importancia en la cuantificación de este efecto rebote, choca con la dificultad de esta valoración. Un primer dilema es si, para medir este efecto rebote, debe hacerse desde la perspectiva energética o económica [Schipper y Grubb, 2000]. Por otra parte, los efectos rebote relacionados con una determinada mejora tecnológica, no acostumbran a quedar delimitados a un solo nivel, sino que derivan en otros efectos secundarios. Ello pasa por ser un elemento muy sensible puesto que, por ejemplo, una determinada mejora tecnológica puede llevar implícita un aumento del consumo energético puesto que, a pesar de su mayor eficiencia asociada, el usuario aprovecha para consumir más en otros conceptos (primer orden). A la vez, la mejora tecnológica puede estimular la producción, aumentando el consumo global (segundo orden).

A pesar que distintos autores ha analizado, y continúan haciéndolo, este problema, una primera estimación del efecto rebote consiste en considerar, solo, las implicaciones directas de la entrada de la nueva tecnología [Khazzoom, 1987]. Esto implica descartar los efectos de segundo orden, bajo la hipótesis que estos, probablemente, tendrán un menor peso que los de primer orden. A pesar de esta simplificación, el problema continúa siendo complejo en su resolución en base a parámetros y técnicas matemáticas [Greening y Green., 1997], evidenciando su carácter transversal. Diversos estudios en el ámbito europeo cuantifican el efecto rebote en una horquilla entre el 15 y el 27%, en función del tipo de mejora tecnológica y el sector afectado [Berkhout et Al., 2000]. Algunos autores llegan a cuantificar el potencial efecto rebote de forma detallada para el sector concreto de la edificación y según distintos conceptos [Greening et Al., 2000] de afectación al usuario último: entre un 10 y un 30% en tecnologías relacionadas con la calefacción de espacios, entre un 0 y un 50% en tecnologías relacionadas con la refrigeración de espacios, entre un

10 y un 40% en tecnologías relacionadas con el agua caliente sanitaria, y entre un 5 y un 12% en tecnologías relacionadas con la iluminación artificial.

Independientemente de la cuantificación detallada del efecto rebote para distintas tecnologías o sectores, es una variable considerable. La cuestión primordial es, entonces, si este efecto rebote se puede minimizar, y su cuantificación tan solo ha de ser un medio para alcanzar este objetivo. Desde otra vertiente, no se debería considerar válido que, por defecto, se asocie unos determinados valores de ineficiencia energética a los avances tecnológicos que persiguen justamente el efecto contrario.

De esta forma, las causas de este efecto rebote no se han de buscar en la mejora tecnológica en si misma, sino en cómo el sector afectado por un determinado avance tecnológico lo asimila. En otras palabras, se trata más de una cuestión socio cultural que de una limitación tecnológica [Folch, 2007]. En un ejemplo clarividente, el hecho de mejorar la eficiencia energética de la tecnología asociada a la iluminación de espacios, puede comportar un efecto rebote en el aumento de consumo energético asociado a la al propio elemento, más allá de las derivas que tenga en otros consumos (calefacción y refrigeración) que, en última instancia, deben ser previstos por los equipos proyectistas, y son responsabilidad de el uso final.

En el camino al objetivo de la sostenibilidad, se evidencia la necesidad de actuar en la línea directa de los usuarios finales de la tecnología, producto, servicio o política, tanto desde la reproducción real de escenarios teóricos, como de la adaptación de ambos a casuísticas contradictorias ejemplarizadas mediante el efecto rebote. Esta actuación debe darse tanto desde el punto de vista administrativo y legislativo, a través de regulaciones específicas, como desde la información dirigida y la formación de los distintos actores involucrados. En relación a esto último, el hecho que los actores puedan participar, en la medida de lo posible, en la implementación de nuevas tecnologías, ofrece mejores resultados que encajarlos en una posición pasiva en la que solo actúen como meros espectadores [Tàbara, 2003]. Sin embargo, y considerando las realidades del caso de la edificación, así como la transversalidad del trabajo de los proyectistas y el promotor se ha ido incrementando en los últimos años, como respuesta a las nuevas normativas del sector, la participación de los usuarios finales continúa siendo la lacra del proceso, salvo contadas experiencias pioneras como el caso de la remodelación del barrio de Trinitat Nova en Barcelona [Ecobarri Trinitat Nova, 2006], casi siempre impulsadas por la ciudadanía y en ámbitos de residencial público. Por ello se considera que los avances que se hagan en relación a esto y,

sobretudo, en el ámbito terciario y privado, serán una aportación valiosa aunque no contemplen metodologías integrales.

2.2.3. EL MARCO SOSTENIBILISTA DE LA TESIS

En palabras de Ramon Folch, “la sostenibilidad es la aceptación de la matriz global; no hay parámetros despreciables ni en el espacio, ni en el tiempo. La sostenibilidad es la internalización de todos estos elementos subestimados. La sostenibilidad es, en definitiva, una cuestión cultural puesto que, las nuevas culturas (la del agua, la de la energía, la de la movilidad, etc.) dependen, en última instancia, de la cultura. El verdadero cambio propuesto por la sostenibilidad es cultural. Las nuevas tecnologías son, únicamente, herramientas. Las necesitamos, pero no bastan. La nueva cultura del agua, la nueva cultura de la energía, o la nueva cultura de la movilidad, no dependen del agua, de la energía y de la movilidad, sino de la cultura. El verdadero camino promulgado por la sostenibilidad es cultural. Es una jerarquización de la escalera de valores” [Folch, 2007].

En el sector de la construcción, y a pesar del camino recorrido recientemente, continúa siendo necesario el uso de técnicas y tecnologías aplicadas de forma eficiente. No se trata de descubrir nuevas soluciones, aunque sean mejorables, sino de ordenarlas, combinarlas, y aplicarlas correctamente, y generar unas metodologías y herramientas adaptadas a la cultura del cambio.

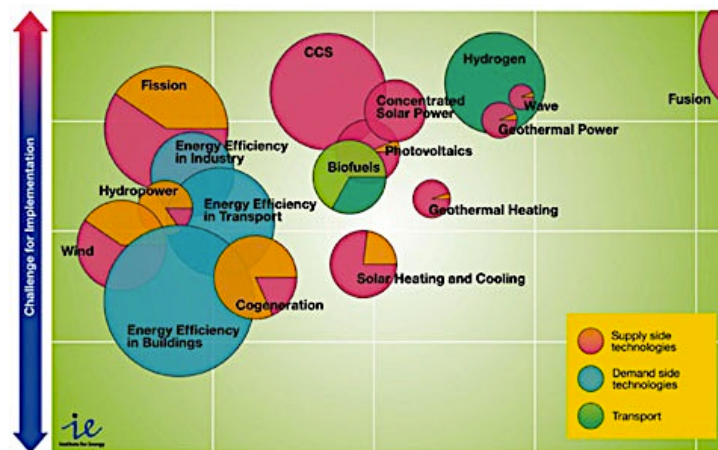


Figura 17. Madurez de distintas tecnologías de suministro y transformación de energía. El tamaño del círculo indica el ahorro en emisiones previsto para 2050, y su posición en el diagrama indica su disponibilidad actual (izquierda), o futura (derecha). Fuente: [SETIS, 2009].

El mismo Sistema de información de tecnologías energéticas estratégicas de la CE (SETIS, en sus siglas en inglés), ha documentado, en los últimos años el potencial de ahorro en

emisiones proyectado a 2050 para distintas tecnologías, siendo la mayoría de ellas, existentes en la actualidad.

En el desarrollo de la presente tesis, se ha considerado este trasfondo tanto desde la vertiente de participación de distintos profesionales y actores del sector (arquitectos, ingenieros y promotores mediante metodologías integradoras) y en valoraciones parciales de actores finales (jefes de mantenimiento y usuarios de los edificios), como en el objeto último de la tesis que es el de ordenar y combinar conocimientos existentes con el fin de generar nuevas visiones transversales, específicas para un determinado sector (los edificios de oficinas con elevadas proporciones de huecos), que sirvan para añadir un elemento más en el camino hacia la sostenibilidad de los mismos. Dada la amplitud del problema, la tesis se ha centrado en ciertos ámbitos del concepto sostenibilista, dejando abierta la posibilidad de incorporar otros elementos en desarrollos futuros, como así es en el momento de redactar este documento.

Parafraseando a Ramon Folch, “en el mundo de la construcción...hay mucho camino por recorrer en la adecuación de la sostenibilidad: la utilización de materiales de bajo impacto ambiental, al ahorro energético, el ahorro de agua, el control de residuos y posibilidad de reciclaje, la durabilidad física y funcional, la eficiencia y la optimización, la eliminación de materiales tóxicos, etc. No se trata solo de producir limpio, sino de producir adecuadamente” [Folch, 2007].

CAPÍTULO 2.3. EL EDIFICIO SISTEMA

2.3.1. CONCEPTOS GENÉRICOS

La definición precisa de los requisitos fundamentales para el diseño de los edificios, resulta un primer paso clave a la hora de lograr construcciones sostenibles. Varios autores han hecho mención a este concepto, llegando a describir que la buena actuación de un edificio depende, en gran medida, de criterios generales relacionados con el atractivo estético, la operatividad y la durabilidad [Nilsson, 2003]. Sin embargo, en la práctica los elementos de diseño deben ser definidos de forma detallada, y resulta trascendental que todos los actores implicados en estas fases, tengan conocimiento del efecto y las consecuencias, en el comportamiento final del edificio, que juegan las variables que representan estos requisitos.

El mismo autor diferencia entre los requisitos relacionados con el comportamiento y la calidad de los edificios. Nilsson describe los requisitos de comportamiento como aquellos que necesariamente deben cumplirse si se quiere alcanzar el uso por el que el edificio ha sido inicialmente diseñado. En esta categoría se incluyen, pues, una climatización correcta, la calidad en la iluminación y en el aire, las restricciones en elementos de incomodidad (ruidos, deslumbramientos, etc.), y la fiabilidad operativa de los sistemas y el edificio en general. Por otra parte, lo que llama requisitos de calidad son los que permiten que el edificio funcione globalmente de forma excelente. Algunos de estos requisitos son la eficiencia energética, un diseño estético atractivo, el uso eficiente de los espacios, los gastos controlados del ciclo de vida, la flexibilidad, la durabilidad, y un mantenimiento simple de las instalaciones. Esta distinción entre estos dos tipos de parámetros resulta importante a la hora de aclarar cuáles son los factores decisivos en las fases iniciales de diseño de los edificios.

2.3.2. EL EDIFICIO COMO SISTEMA

Como se ha comentado, para poder planificar, diseñar, construir y usar un edificio bajo las premisas de la sostenibilidad, resulta fundamental describir cuáles son los principales parámetros que definen el ciclo de vida de estos. Este hecho, que a priori implica la construcción, uso y deconstrucción de los edificios, representa, en el caso de la presente tesis, las fases de construcción y uso. La extensión y el alcance del trabajo aconsejó, desde un principio, centrarse en los aspectos considerados más relevantes y dejar, para futuros análisis propios o ajenos, otros factores que, por peso en el resultado final, resultarían menos trascendentales, en cuanto a que su consideración aumentara las conclusiones, pero no modificara las obtenidas.

Los parámetros en juego, como se ha comentado, se pueden englobar en las categorías de comportamiento y calidad. El hecho de que se puedan clasificar en estas categorías no supone que los diferentes parámetros sean asépticos entre ellos. Más bien lo contrario; existen múltiples interacciones entre todos los parámetros, y todas estas conforman la radiografía que nos ha de permitir evaluar el comportamiento global de los edificios. Desde esta perspectiva, los edificios pueden ser considerados según:

- ✓ Subsistemas del entorno donde se ubican; durante toda la vida útil, los edificios generan un impacto medioambiental y energético en concreto.

- ✓ Hipersistemas (sistemas que contienen otros) que influyen en el confort y la productividad de los usuarios.

Considerando el edificio como un sistema, se puede dibujar un esquema [Poirazis, 2008], en el que los requisitos de comportamiento y calidad del edificio quedan incluidos en el entorno del edificio, interactuando entre ellos y influenciando en el comportamiento global.

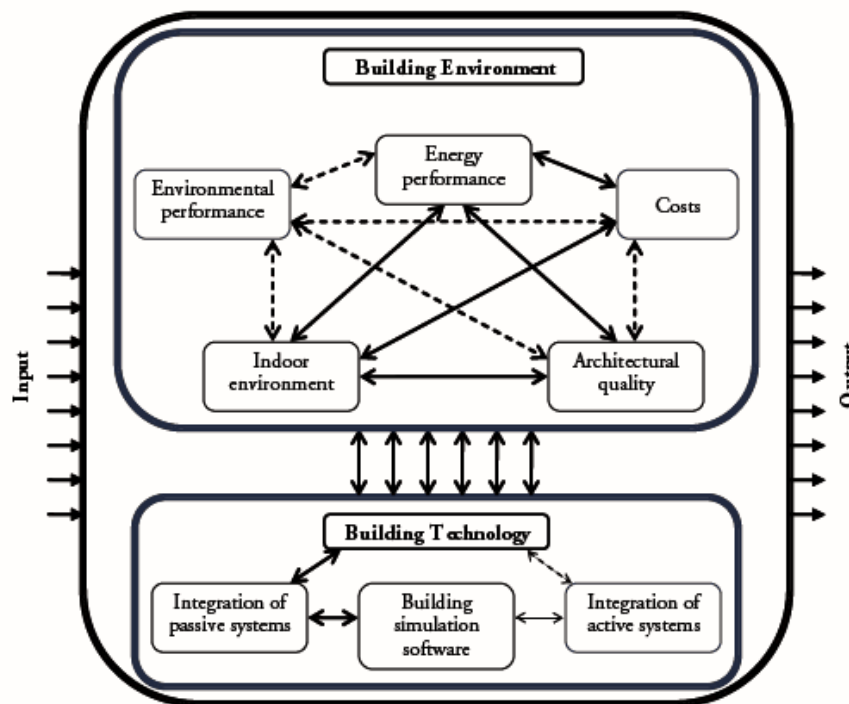


Figura 18. Esquema del edificio entendido como sistema, con entradas, salidas y parámetros internos conectados. Fuente: [Poirazis, 2008].

El edificio como sistema incluye, no sólo el llamado entorno del edificio, sino también la tecnología del edificio. Esta tecnología debe considerarse no como un añadido, sino como un conjunto de parámetros más a considerar y optimizar de forma global desde las fases iniciales de diseño. Como ejemplo, la integración de las tecnologías de captación de la energía solar (tanto activa como pasiva) tiene una relación directa con los elementos que conforman el entorno del edificio y, por tanto, deben ser consideradas en la búsqueda del edificio sostenible desde las fases iniciales.

La comprensión de la interacción de estos dos subgrupos durante las fases de diseño es el único camino a la hora de lograr edificios eficientes y con un mínimo impacto medioambiental. Es decir, la visión sistémica (transversal y participativa) de la problemática presentada, es la única que asegura una comprensión detallada de las

diferentes interconexiones existentes en el seno de un edificio, condición necesaria para llevar a la práctica una construcción bajo el marco de la sostenibilidad.

Bajo la comprensión del edificio como sistema, es necesario contemplar cuidadosamente los condicionantes y limitaciones desde las primeras fases de diseño, de forma que se obtenga una visión global correcta que permita tomar las decisiones adecuadas. Estos, que servirán de entrada al análisis del edificio sistema, se pueden enumerar según:

- ✓ Condiciones climáticas (radiación solar, temperatura y humedad exteriores, etc.)
- ✓ Emplazamiento y obstrucciones de las construcciones adyacentes (latitud, radiación directa disponible, reflectancia del sol, etc.)
- ✓ Uso del edificio (horas de operación, densidad de ocupación, etc.)
- ✓ Normativas existentes

Resulta evidente que el diseño del edificio óptimo (salidas más eficientes del edificio sistema) no se puede alcanzar hasta que el edificio sostenible, como ente global, haya sido definido de diferentes maneras que dependen tanto de las limitaciones de diseño, como de la manera en que los equipos de diseño prioricen sus objetivos y necesidades [Andersen, 2000].

Aunque el número de parámetros a considerar es muy extenso, a continuación se detallan los conceptos de aquellos que se consideran prioritarios en el análisis del edificio como sistema global.

2.3.3. EL ENTORNO DEL EDIFICIO

i.Las condiciones interiores

Tal y como explica Wouters [Wouters, 1999-2000], las fases iniciales de diseño de los edificios resultan fundamentales a la hora de lograr unas condiciones interiores finales aceptables. Aunque otros parámetros, como los estrictamente relacionados con el consumo y la eficiencia energética de los edificios, son fundamentales a la hora de plantear la sostenibilidad en el sector de la construcción, éstos no pueden ser considerados como los únicos sino que otros, como las condiciones interiores, también contribuyen al edificio sostenible con conceptos tan importantes como el confort de los usuarios.

Las condiciones interiores de los edificios dependen de la acústica, el confort térmico, el confort visual, el confort psicosocial, y la calidad del aire.

El hecho de diseñar considerando estos parámetros, debe facilitar su buen comportamiento implicando directamente una mejor salud física y psíquica de sus ocupantes y, en última

instancia y en función del uso del edificio, una mayor productividad [Fisk y Rosenfeld, 1997]. Más allá de los beneficios económicos directos o indirectos que ello pueda implicar, este hecho se considera un derecho de los ocupantes y, por tanto, una premisa obligatoria a la hora de alcanzar el edificio sostenible.

El confort térmico.

De todos los parámetros que marcan las condiciones interiores de los edificios, probablemente el confort térmico es el más importante. El logro del confort térmico haciendo un uso eficiente de la energía, pasa por ser una de las tareas más complejas a la hora de diseñar un edificio. El confort térmico se puede dividir según factores primarios y secundarios que influyen en la calidad del entorno térmico [ASHRAE, 2013a].

Los factores primarios son aquellos relacionados con la temperatura y la radiación, la temperatura operativa y la resultante, la humedad del aire, la velocidad y turbulencia de éste, la ropa y la percepción del confort térmico.

- ✓ Temperatura y radiación (temperatura de bulbo seco y temperatura radiante). La sensación térmica está dominada por la temperatura del entorno. Sin embargo, la temperatura de bulbo seco no siempre es un indicador apropiado de uno buen entorno térmico ya que no considera la influencia de la energía radiante. En este sentido la temperatura radiante resulta un indicador más óptimo ya que considera la media del intercambio radiativo entre el ocupante y las superficies que la rodean.
- ✓ Temperatura operativa y resultante. Las temperaturas operativas y resultantes combinan empíricamente la temperatura de bulbo seco y la temperatura radiante. De esta manera se describe la temperatura operativa como aquella que una persona emite el mismo calor que antes, siempre que la temperatura del aire sea igual a la temperatura radiante [Peterson, 1991].
- ✓ Humedad relativa. Es el ratio entre el contenido de humedad a una cierta temperatura y el máximo posible (sin llegar a la condensación) para esta temperatura. Generalmente la humedad afecta a las pérdidas de calor por evaporación, siendo más importantes para temperaturas altas o ratios metabólicos elevados [ASHRAE, 2013b].
- ✓ Velocidad y turbulencias del aire. La sensación de confort térmico está influenciada por la velocidad y la turbulencia del aire. En escenarios de calor, la velocidad y turbulencia del aire en escalas aceptables, puede beneficiar el confort térmico. Aún

así, grandes velocidades y turbulencias, o la aparición de estos efectos en escenarios frescos, puede ser causa de incomodidad térmica.

- ✓ Ropa. La ropa, como aislante térmico del cuerpo, presenta un papel fundamental a la hora de evaluar las condiciones de confort térmico (la selección del tipo de ropa puede alterar entre 2 y 3 ° C la temperatura de sensación). La unidad para expresar el aislamiento de la ropa es el clo ($1\text{clo} = 0,155\text{ m}^2\text{KW}^{-1}$). Debido a los cambios de ropa de la gente en función de la estación, en la ASHRAE Standard 55 se diferencian entre las zonas de confort de verano e invierno apropiadas para niveles de aislamiento de la ropa de 0,5 y 0,9 clo respectivamente [ASHRAE, 2013b].
- ✓ Percepción del confort térmico. Primeramente se debe considerar que las condiciones de confort térmico no son fácilmente identificables en cuanto tienen una componente subjetiva muy importante. Parafraseando a Andersen, “no es sólo que la gente vaya vestida diferente y tenga ratios metabólicos diferentes, sino que su opinión del confort está relacionada también con su entorno psicosocial, que no se puede considerar fácilmente bajo ningún método de cálculo” [Andersen, 2000]. Considerando esto, habitualmente los métodos de cálculo más valorados son los planteados en los estándares 55 de ASHRAE [ASHRAE, 2013b] y los estándares 7730 de las ISO [ISO, 1984]. Tanto los estándares de la ASHRAE como los de la ISO, se fundamentan en los conceptos de Voto Medio Previsto (PMV en sus siglas en inglés) y de la Predicción del Porcentaje de Insatisfechos (PPD en sus siglas en inglés) desarrollados por Fanger [Fanger, 1970]. Aunque en los últimos años, algunos autores han sido críticos con estos parámetros [Andersen, 2000], en la actualidad todavía son los más utilizados.
 - PMV es un índice que representa la sensación térmica a través de la correlación entre los parámetros del entorno interior del edificio y las sensaciones de confort térmico de las personas. El PMV predice la respuesta media de un grupo numeroso de personas según una escala que va del 3 (caluroso) hasta el -3 (frío), pasando por 0 que se considera el estado ideal.
 - El PPD es un indicador del número de personas que estarían de acuerdo con una determinada situación de las condiciones térmicas. Existe una relación sencilla entre el PPD y el PMV que permite obtener el primero directamente los valores del segundo. De esta forma, cuando se dice estar de acuerdo con una determinada situación térmica, se considera que se está en unos valores del PMV entre 1 y -1.

Las predicciones realizadas por PPD, bajo unas determinadas condiciones térmicas, indican que siempre existe un porcentaje de gente insatisfecha térmicamente, sean cuales sean las condiciones. No es posible definir un conjunto de condiciones térmicas que satisfagan a todos. Incluso cuando la media del PMV es 0, el 5% de los ocupantes están insatisfechos térmicamente [Liddament, 1996.]. en este sentido, los estándares especifican que un valor de un 90% de aceptación de las condiciones térmicas resulta razonable.

Como factores secundarios se incluyen las condiciones no uniformes del medio (radiación térmica asimétrica, la diferencia vertical de temperatura, o los forjados calientes o fríos), la edad, el sexo, la adaptación y los ritmos estacionales. Estos factores, aunque pueden influenciar las condiciones térmicas de confort, resultan en un grado de detalle que se escapa de los objetivos y planteamientos de la presente tesis.

Considerar estos diferentes factores desde las fases iniciales de diseño resulta prioritario en el edificio sostenible y conlleva, más allá de otros beneficios, una mejor salud de los usuarios y un aumento de la productividad (según el uso del edificio). Algunos autores [Wyon, 1986], han valorado la relación entre temperatura del aire, número de accidentes, productividad laboral y eficiencia.

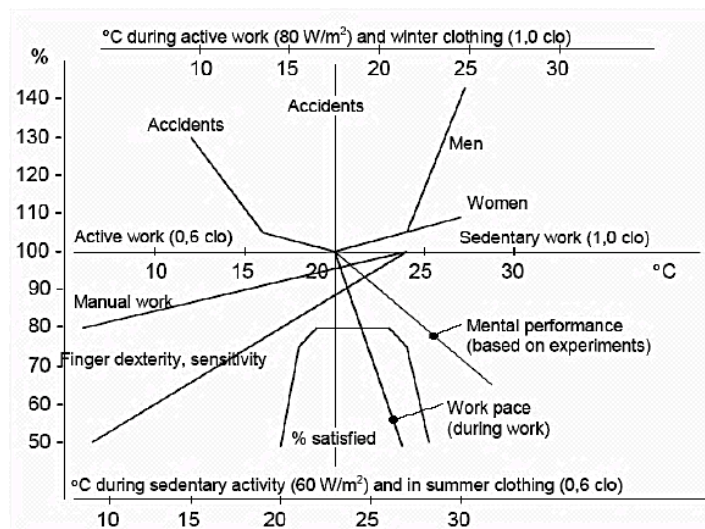


Figura 19. Relación entre las condiciones de confort de los edificios, el número de accidentes, la productividad laboral, y la eficiencia. Fuente: [Wyon, 1986].

A pesar de la complejidad de predecir la influencia de se condiciones térmicas en la productividad laboral, diferentes autores coinciden en que esta relación existe y puede llegar a ser bastante importante [Wyon, 2000a; Wyon, 2000b; Hanssen, 2000].

Por otra parte, las herramientas de simulación dinámica del comportamiento energético de edificios pueden evaluar la mayoría de las variables descritas, ofreciendo valores temporales de cada una de ellas y permitiendo, de este modo, el diseño eficiente en este sentido.

Otros parámetros climáticos internos que influyen en la salud y en la productividad de los ocupantes.

El resto de parámetros climáticos internos de los edificios, pese a no tener la relevancia del confort térmico (a nivel del usuario y de la energía asociada), juegan un rol importante que vale la pena considerar.

- ✓ Calidad del aire. La calidad del aire depende [Nathanson, 1995] de la interacción entre el entorno y el clima externo, los sistemas energéticos del edificio, las fuentes potenciales de contaminación (muebles, polución externa, etc.) y los ocupantes. Aunque este es un factor que los sistemas de climatización actual ya contemplan, aún existe pocas fuentes científicas que hayan analizado el efecto de la calidad del aire con la salud y la productividad de los ocupantes de los edificios [Hansen, 2000].
- ✓ Confort visual. Sea cual sea el uso de los edificios diseñados, resulta importante planificar el confort visual de los ocupantes. Más allá de los ahorros energéticos generados por el buen uso de la iluminación natural de los espacios (realmente considerable en el caso de edificios de un uso diurno, como el caso de edificios de oficinas o edificios administrativos) un diseño cuidadoso de los espacios y de su iluminación conlleva un entorno más agradable y una mayor productividad de sus ocupantes, que algunos estudios cifran de hasta el 15% [Osso, 1996]. Como se ha dicho, el diseño cuidadoso debe contemplar tanto la distribución correcta de espacios como su iluminación. Así como el segundo parámetro puede resultar más sencilla, la distribución de espacios para contemplar el confort visual depende de factores menos evidentes. La percepción visual es un proceso activo de seguimiento de información, en parte consciente y en parte inconsciente, implicando muchos mecanismos diferentes en un proceso cognitivo interpretado por los ojos y el cerebro [Chrisoffersen, 1995]. En general, los parámetros que están implicados en el confort visual son la iluminancia, la luminancia, el factor de luz diurna, la distribución lumínica en superficies, los deslumbramientos y la dirección [Poirazis, 2008].

ii.La calidad arquitectónica

El diseño arquitectónico de los edificios condiciona claramente tanto el consumo energético de este durante su uso, así como el confort de sus ocupantes. El perfil del edificio y su ubicación, la orientación de las fachadas y la integración de elementos, pasivos y activos, de captación solar, son algunos de los parámetros que condicionan, de forma más evidente, el consumo energético durante la operatividad de la construcción. Por otra parte, la percepción de los ocupantes del entorno interno del edificio, queda estrechamente ligada a sus necesidades sociológicas, el estado psicológico y de otras diferencias individuales que influyen directamente su confort y productividad [Poirazis, 2005].

Queda claro, de esta forma, que para asegurar una calidad arquitectónica óptima es necesario analizar muchos parámetros. Bajo el concepto de diseño energéticamente eficiente, se deben combinar diferentes elementos cuidadosamente. La ubicación y orientación del edificio, el factor de forma, el tipo de fachada (y la proporción de parte opaca y transparente), el perfil del edificio o la orientación de éste. Estos parámetros deben marcar, evidentemente, el comportamiento energético del edificio en cuando condicionan el asoleamiento de éste o las infiltraciones de aire externo.

A pesar de todo ello resulta evidente la existencia de otros parámetros, más allá de los que condicionan el confort térmico o visual, que deben considerarse para lograr una atmósfera agradable de empleo. Elementos como la privacidad, los niveles de interacción, la territorialidad u otros, tienen un gran impacto en la respuesta de los usuarios tan sociológicamente, como psicológicamente o fisiológicamente [US Army Corps of Engineers, 1997].

La presente tesis considera, de forma indirecta, estos parámetros (algunos de ellos, como las orientaciones o tipologías de fachadas, forman parte de las simulaciones), aunque no se ha llevado a cabo un análisis detallado de aquellos que son claramente más específicos del mundo de diseño de interiores, o la estética global de los edificios, que serían fruto de otro análisis diferente.

iii.Actuación medioambiental

Otro de los factores a considerar, desde el punto de vista de la visión sistémica del diseño, construcción y uso de los edificios, es la actuación medioambiental. Los impactos de los edificios sobre el medio ambiente son numerosos y variados en el tiempo, el edificio interactúa de forma diferente con el medioambiente durante las etapas de construcción, uso

y deconstrucción. Cada uno de los elementos que componen el edificio ha sido extraído de la Tierra, procesado, machihembrado, mantenido, y finalmente demolido y, a veces, reciclado. El impacto medioambiental total debe considerar también el impacto de cada uno de los procesos descritos.

De esta forma, la actuación medioambiental de un edificio depende de a) la construcción (suma de las actuaciones correspondiente a la extracción y procesado de los materiales, su transporte hasta la obra y su disposición según el diseño de la construcción), b) la etapa de ocupación / mantenimiento (en edificios residenciales esta etapa puede suponer entre el 70 y el 90% del consumo energético total del ciclo de vida de los edificios, y resultar superior en edificios otros usos [Adalberth, 2000]), y c) la deconstrucción y demolición del edificio (en general, la menos importante de las tres etapas).

El estudio de todo el ciclo de vida de un producto o proceso (en nuestro caso, el edificio) desde la extracción de la materia prima a la disposición final de la misma, es lo que se denomina Análisis del ciclo de vida (LCA en sus siglas en inglés). La ventaja de utilizar el LCA es que posibilita el acceso a información de la actuación medioambiental de diferentes conceptos del edificio. La cruz, es la falta de información fiable sobre el ciclo de vida de los materiales utilizados en los edificios. La generación de estas bases de datos no es una tarea sencilla ni rápida, y los resultados son muy variables en función de la ubicación geográfica o de los parámetros considerados en este análisis. En este sentido, resulta más factible el análisis del ciclo de vida desde la construcción hasta la deconstrucción, obviando etapas anteriores y posteriores.

En el presente trabajo de Tesis, el análisis del ciclo de vida del edificio, entendiéndolo como el análisis completo, no se ha considerado por ser inviable, ni en tiempo ni en esfuerzo requerido para tener datos mínimamente fiables. Aunque, según lo referenciado, a nivel energético es posible minimizar el impacto de esta consideración en los resultados, y conclusiones, finales, se desconoce si este pudiera ser representativo desde una vertiente más integral medioambiental. En cualquier caso, y de disponer de datos fiables, las metodologías y herramientas desarrolladas podrían adaptarse fácilmente a la integración de dicho parámetro.

iv. Costes

Existen tres métodos para calcular los gastos asociados a un edificio;

- ✓ Gastos de la inversión. En donde tan sólo se consideran los gastos asociados a la inversión.

- ✓ Gastos del ciclo de vida. Gastos asociados a toda la vida del edificio.
- ✓ Valor económico total. Fundamentado en los gastos del ciclo de vida pero incluyendo, además, de otros gastos o beneficios como puede ser la productividad de los usuarios de los edificios.

Parece evidente que, de las tres alternativas, la primera no permite considerar de forma integral los beneficios de un diseño energéticamente eficiente o, en definitiva, la sostenibilidad de un proyecto. El análisis de los gastos de la inversión, no considera los gastos asociados a la explotación del edificio de manera que, si éste ha sido diseñado para consumir menos en estas etapas de máxima gasto energético, esto no queda reflejado en esta metodología. La segunda de las posibilidades, de los gastos del ciclo de vida, es la que ha adoptado, con matices característicos, la Comisión Europea en su definición de *Cost Optimal* [EPBD, 2010]. En la misma, se consideran los costes globales del ciclo de vida de los edificios, valorando e integrando igualmente, los costes de las emisiones de gases de efecto invernadero, en su versión macroeconómica. Por otra parte, la tercera de las alternativas, la del valor económico total, si bien considera en detalle los costes de un determinado escenario, aumenta exponencialmente el trabajo en la valoración del mismo dificultando, a su vez, la fiabilidad de los resultados. Ello resulta en un paradigma inviable cuando lo que se pretende es determinar un análisis generalista, y no estudiar un edificio en concreto.

Finalmente, determinados autores [Fuller y Petersen, 1996] defienden que cualquier proyecto relacionado con la conservación de la energía deben ser evaluados con el análisis de los gastos del ciclo de vida (LCCA en sus siglas en inglés). Esto resulta claramente indicado en edificios, tanto desde el punto de vista de los materiales que lo componen como los sistemas que satisfacen las condiciones interiores de confort [Johansson, 2007].

Considerando la filosofía y el alcance de la tesis presentada, el análisis de los gastos se ha llevado a cabo mediante una metodología de LCCA probada y adecuada al marco del proyecto [Johansson, 2007]. Evidentemente la metodología según gastos de inversión dejaría demasiados parámetros fundamentales, desde el punto de vista sostenibilista, sin analizar, y se limitaría, por este motivo, la posibilidad de que esta variable fuera una herramienta más de decisión en las etapas de diseño. Por otra parte, se ha considerado que el método del valor económico total resulta demasiado extenso, dada la naturaleza del proyecto, y poco fiable, dada la variabilidad entre escenarios de ciertos parámetros (como por ejemplo el uso de los edificios) en las fases iniciales de diseño.

2.3.4. LA TECNOLOGÍA DE LOS EDIFICIOS

Desde la perspectiva del edificio sistema, y como una evidencia física del funcionamiento físico del mismo, es necesario considerar la tecnología del edificio desde las fases iniciales de diseño, con el objetivo de mejorar la actuación energética y contribuir en la sostenibilidad de la construcción. Tradicionalmente se han tratado muchos de los sistemas de los edificios (en especial, los activos) como añadidos de la construcción una vez ésta ya ha sido definida hasta el mínimo detalle. Este enfoque resulta erróneo en cuando se fundamenta en la idea del edificio y sus sistemas como elementos separados que no interactúan cuando, realmente, en el día a día se demuestra lo contrario. A través de la integración de diferentes tecnologías en el proceso de diseño del edificio se incrementa la complejidad del sistema; en estos casos se deben considerar las implicaciones y los procesos de evaluación se deben reiniciar considerando el problema como diferente [Poirazis, 2008].

Un ejemplo de ello es el uso de fachadas ventiladas en los edificios (integración de sistemas pasivos), con el fin de solucionar los problemas de confort térmico en edificios con porcentajes de fachadas transparentes elevadas, o determinados sistemas de difusión de clima. Estas soluciones varían totalmente las condiciones internas del edificio, modificando tanto las demandas de climatización como, en algunos casos, las de iluminación, más allá de variar otros parámetros del entorno interno. Evidentemente el diseño resultante queda claramente alejado de la solución inicial y, por tanto, el análisis de las distintas opciones debe hacerse por separado y desde el principio, y no como un añadido final.

Queda claro, de este modo, que las interacciones entre los constituyentes (requisitos de actuación y calidad) del entorno del edificio y las implicaciones de las tecnologías del edificio resultan elementos complejos y que hay que analizar en detalle [Poirazis, 2008]. De esta manera, el primer paso hacia el edificio sostenible es priorizar los objetivos principales y los requisitos de calidad, decidir cuáles son los valores mínimos aceptables, y generar una metodología y transferencia de conocimientos transversales entre los diferentes actores del diseño del edificio. El uso de tecnologías eficientes y su integración se debe valorar desde las fases iniciales para evitar llegar a resultados no deseados.

Resulta importante considerar, además, que la relación entre la tecnología del edificio y el entorno de éste, es uno de los puntos de encuentro tradicionales entre los diferentes profesionales que actúan en el diseño y construcción de los edificios. En este sentido, y a

pesar de la existencia de herramientas que permitan evaluar la integración de los sistemas y tratar éstos como una variable más del diseño global, a menudo la falta de metodologías transversales de trabajo y de un marco claro de comunicación entre especialistas, o la falta de definiciones comúnmente aceptadas de los parámetros relevantes, conlleva un tratamiento por separado del entorno y las tecnologías del edificio [Bleil y Knight, 2007]. Esto deriva, en la mayoría de los casos, en la imposibilidad de alcanzar edificios sostenibles o, al menos, energéticamente eficientes.

Normalmente las especificaciones de los sistemas energéticos (ya sean activos o pasivos), vienen dadas por requisitos existentes, recomendaciones, normativas o preferencias de los promotores y usuarios; habitualmente las temperaturas de confort o los ratios de flujo de aire quedan establecidos en función del uso de los edificios. Este hecho ayuda a simplificar de forma notable los procesos de diseño de los sistemas energéticos [Johansson, 2007]. En este sentido, la consideración de los tipos de sistemas a evaluar en estas fases de diseño queda supeditada a las tipologías de edificios, los usos de éstos, las zonas climáticas donde se ubican y las imposiciones de las normativas existentes en las latitudes analizadas. En paralelo al diseño de los escenarios arquitectónicos y constructivos analizados en el seno de la presente tesis, se han acoplado los sistemas activos (generación y difusión energética) considerando los condicionantes descritos, y bajo el prisma de trabajar con tecnologías maduras y habituales, más que en sistemas excepcionales. Es importante remarcar que el objetivo de la presente tesis es facilitar el conocimiento sostenible en base a multitud de escenarios y no determinar el comportamiento específico de soluciones individuales fruto de diseños singulares.

Por ello, realizar un inventario de las tecnologías existentes, y el estado del arte de cada uno de ellas, no resulta sólo un trabajo de amplio alcance sino yermo en el seno de un proyecto de estas características. Igualmente, y considerando las fases de actuación en que se enmarca la tesis y sus objetivos finales, siempre que se hable de sistemas activos resulta condición suficiente el análisis de la implicación de estos y su interacción con el edificio mediante el estudio de ciertos parámetros genéricos que los definan, más allá de los específicos de cada uno de ellos (fruto de estudio en las etapas finales del diseño de detalle de los edificios). Se cree además interesante el hecho de llevar el análisis a estos niveles generalistas que permiten una relación simple de los sistemas a considerar en los diferentes escenarios. Considerando las tipologías de sistemas, se tiene;

- ✓ Sistemas activos. Entendiendo como sistemas activos todos aquellos ingenios que, vía procesos mecánicos y alimentados por una fuente energética, ayudan a alcanzar las condiciones de confort de los edificios. Tanto para evaluar la energía primaria asociada a su uso, como su consumo económico, los sistemas energéticos se pueden reducir, en última instancia, a los siguientes parámetros.
 - Rendimiento, entendiendo como tal el ratio entre la energía útil y la energía primaria que define la eficiencia de una máquina o sistema.
 - Potencia, siendo esta la energía desarrollada por unidad de tiempo.
 - Fuente energética, que se puede definir como las elaboraciones naturales, más o menos complejas, de las que el ser humano puede extraer energía para llevar a cabo un trabajo determinado, u obtener alguna otra utilidad. Dentro de la clasificación de las fuentes energéticas, podemos encontrar las que son renovables y las que no, siendo la diferencia entre ambas que las primeras permiten una explotación ilimitada, ya que la naturaleza las renueva constantemente, mientras que las segundas son finitas. Además, las llamadas renovables son energías limpias en cuando reducen, de forma considerable, el impacto ambiental derivado de su uso.
- ✓ Sistemas pasivos. Entendiendo éstos como los que, teniendo los mismos objetivos que los activos, actúan sin mecanismos o ingenios, o su funcionamiento no se fundamenta en los mismos. Habitualmente los sistemas pasivos usan como fuente de funcionamiento las energías renovables. Existen múltiples sistemas que encajan con la definición dada (materiales de cambio de fase, materiales de aislamiento transparente, etc.) más allá de aquellos elementos constructivos o arquitectónicos que, de alguna manera u otra, ya están considerados en el llamado entorno del edificio (elementos de sombreado, materiales inerciales, etc.). A pesar del planteamiento mencionado, por el que se priorizan soluciones genéricas por encima de escenarios muy singulares, en el caso de los elementos pasivos el análisis se fundamenta, por ser su punto central de investigación, en unos determinados escenarios en los que, en los últimos años, se han venido diseñando soluciones muy concretas que, en otros ámbitos, podrían definirse de singulares. En concreto, y tanto en soluciones opacas como transparentes, la fachada ventilada es un sistema de cierre que permite crear una cámara de ventilación entre la piel externa y la interna. Este sistema se define, comúnmente, como una solución que permite una mejora en las

condiciones térmicas y acústicas del edificio, así como una reducción del porcentaje de humedad producido por los agentes atmosféricos exteriores. En función del tipo de fachada ventilada y el uso del edificio, el aire circulante en la cámara puede regularse para apoyar el sistema general de climatización [Poirazis, 2004]. Estos tipos de cierres, además, pueden integrar sistemas solares activos que produzcan energía (eléctrica o térmica) al mismo tiempo que sirvan como elementos de sombreado.

Dentro del marco de la tecnología del edificio se ha incluido, no sólo la integración de sistemas pasivos y activos, sino también las herramientas de simulación y control de las condiciones de actuación de la construcción. El uso de estas herramientas, que posibilitan el análisis integrado del edificio como elemento pasivo conjuntamente con los sistemas (activos o pasivos) que interactúan con él, resulta fundamental en las fases iniciales de diseño, más allá de las ventajas que comporta en las decisiones de detalle o la comprobación de diversas normativas del sector. Dada la especial relevancia de estas herramientas en el proyecto presentado, se ha desarrollado este punto de forma separada en el siguiente capítulo.

CAPÍTULO 2.4. HERRAMIENTAS DE SIMULACIÓN DE COMPORTAMIENTO ENERGÉTICO DE EDIFICIOS

El uso de herramientas de simulación en el diseño de edificios puede ayudar, a los equipos encargados, a mejorar las condiciones de partida de los mismos. Los diferentes elementos integradores del edificio (tanto soluciones constructivas como arquitectónicas o sistemas, entre otros) pueden ser optimizados considerando el consumo de energía primaria y las condiciones de confort. Las diferentes alternativas se pueden simular, sin necesidad de experimentar con casos reales, analizándolos y prediciendo desde las etapas iniciales de diseño. Este proceso se puede considerar también en el caso de edificios existentes, con el fin de optimizar su comportamiento tanto en el régimen en que se encuentren como en el caso de que se quieran rehabilitar integralmente. Estas herramientas posibilitan, pues, la toma de decisiones fundamentadas durante las etapas iniciales de diseño, más allá de su uso tradicional como herramientas de comprobación final, o de decisión de parámetros secundarios en las etapas finales del proceso [Wilde, Augenbroe y Voorden, 1999; Wilde, Augenbroe y Voorden, 2002].

Considerando la clasificación establecida por Jacobs y Henderson [Jacobs y Henderson, 2002], las diferentes herramientas de simulación de edificios se pueden dividir en las siguientes categorías:

- ✓ Herramientas de diseño para profesionales. Son herramientas utilizadas por arquitectos, ingenieros y otros profesionales para automatizar tareas comunes que forman parte del día a día del proceso de diseño (a menudo integradas en entornos CAD).
- ✓ Herramientas de análisis energético integral de edificios. Son herramientas diseñadas para predecir el consumo energético anual de los edificios y, a menudo, los costes de uso, mediante la consideración de las condiciones de operación de los mismos. Estas herramientas de simulación horaria de edificios son usadas por profesionales como parte del proceso de diseño y para el cumplimiento de diferentes normativas relacionadas.
- ✓ Herramientas de cribado energético y medioambiental. Herramientas focalizadas en los impactos económicos y medioambientales de nuevas tecnologías energéticamente eficientes en los edificios.
- ✓ Herramientas de análisis especializados. Herramientas utilizadas a menudo para tareas de investigación que incluyen modelos de simulación de detalle. Normalmente están desarrolladas para analizar en detalle una determinada problemática del comportamiento de los edificios. Estas herramientas consideran sólo elementos singulares y nunca una visión sistémica de los edificios.

Considerando los objetivos y finalidades de la presente tesis, los tipos de herramientas que se han valorado son las que contemplan, o pueden contemplar, el edificio como un sistema que integra los diferentes elementos arquitectónicos y constructivos, así como los sistemas energéticos o la operación de los edificios (entendiendo ésta como los perfiles de uso y gestión de los mismos). En este sentido, en los últimos años se han desarrollado numerosas herramientas de análisis energético integral de edificios, que permiten trabajar con indicadores del comportamiento energético global de estos.

En base a informes existentes sobre las capacidades de distintas herramientas de simulación dinámica del comportamiento energético de los edificios [Crawley, Hand, Kummert y Griffith, 2005], y a inventarios analizados [EERE, 2013] realizados por la Oficina de eficiencia energética y energías renovables del gobierno de EEUU (EERE en sus siglas en inglés), se reseñan a continuación algunas de las más conocidas. Algunas de

estas herramientas señaladas estuvieron programadas, en primera instancia, hace más de veinte años y, desde entonces, han sido continuamente actualizadas. Los últimos años han aparecido en el mercado multitud de nuevas herramientas comerciales de simulación del comportamiento energético de los edificios, que representan diferentes grados de profundidad, tanto en el tratamiento de las problemáticas, como de los resultados que se obtienen y que están, en última instancia, dirigidos a diferentes profesionales del sector. Solamente en el citado enlace del Departamento de Energía de los EEUU [BEST, 2014], figuran más de 137 entradas pertenecientes a la categoría de análisis integral del edificio, en su acepción de simulación energética. Dada la no adecuación de mencionar todas las herramientas comerciales existentes en el presente documento, y en un intento de evitar la subjetividad a la vez que establecer un marco de referencia, se han seleccionado, en primera instancia, aquellas que tienen una trayectoria comercial más sólida y que, por otra parte, presentan las características necesarias para poder llevar a cabo un trabajo como el presentado. De esta manera se consideran;

Tabla 1, Nombre y características de herramientas de simulación de edificios. Fuente: elaboración propia

| Nombre | Uso |
|--------|---|
| BLAST | La herramienta BLAST fue desarrollada por USA CERL y la Universidad de Illinois. BLAST (Análisis de las cargas de los edificios y de sistemas termodinámicos, de sus siglas en inglés), es un conjunto de herramientas que buscan predecir el consumo energético, la actuación de los sistemas energéticos y los costes asociados a los edificios. La herramienta está formada por varios módulos entre los que destacan: a) Predicción de cargas de un espacio, b) Simulador de sistemas de aire, c) Plantas centrales. BLAST puede predecir a la vez los consumos energéticos anuales así como los picos de carga diarios por el diseño de equipamientos mecánicos. |
| BSim4 | BSim 4 fue desarrollado por Instituto de Investigación en la Edificación de Dinamarca (SBI en sus siglas en inglés) en el año 2004. Se trata de una herramienta de uso sencillo utilizada para el análisis y diseño de los edificios y de las condiciones de humedad. BSim4 está formado por múltiples herramientas; a) tsbi5: módulo combinado de simulación de transiciones térmicas y condiciones internas de humedad así como de las superficies, b) SimView: editor de modelos gráficos y generador de entradas, c) SimLight: herramienta para análisis de las condiciones de iluminación natural en espacios simples, d) Xsun: herramienta gráfica para el análisis de la luz solar directa y de las sombras, e) SimPV: herramienta simple de cálculo de las instalaciones fotovoltaicas, f) NatVent: herramienta simple para el cálculo de las condiciones de ventilación natural unizona, y g) SimDxf: herramienta simple de importación de ficheros CAD. |

| Nombre | Uso |
|------------|--|
| DEROB-LTH | <p>Inicialmente desarrollada en el Laboratorio de Simulación Dinámica de la Universidad de Texas (Austin, EE.UU.), desde 1980 el programa ha mejorado en la Universidad de Lund (Suecia). La herramienta permite la comparación del comportamiento energético de edificios considerando diferentes diseños de este y las múltiples interacciones entre los elementos que los componen. El comportamiento se muestra en función de los indicadores clásicos en la materia como son: la temperatura, las cargas de calefacción y refrigeración o diferentes índices de comportamiento de las condiciones de confort. La forma del edificio se puede modelar de manera flexible considerando detalles como los elementos de aislamiento en la piel del edificio, los elementos de sombra o el diseño de las soluciones transparentes. Las simulaciones horarias consideran las interacciones con los datos climáticos, las cargas internas y los flujos de ventilación e infiltración.</p> |
| DOE-2.1E | <p>DOE-2 fue desarrollada por el Laboratorio de Lawrence Berkeley (LBNL en sus siglas en inglés). DOE-2 ha sido ampliamente reconocido en los últimos 25 años para predecir el consumo energético y coste económico de los edificios. La herramienta está formada por un módulo de traducción de las entradas de los edificios sistemas (procesador BDL) y cuatro módulos de simulación (LOAD, SYSTEMS, INC y ECON). El módulo LOAD calcula los componentes sensibles y latentes de las cargas horarias para cada espacio del edificio a temperatura constante, considerando las condiciones climáticas y los patrones del edificio. Los resultados del módulo LOAD sirven de entradas del módulo SYSTEMS que se encarga de analizar y predecir el comportamiento de los sistemas secundarios (ventiladores, tubos de distribución, etc.). Las salidas de SYSTEMS, flujos de aire y cargas de éstos, se utilizan para calcular, mediante el módulo PLANT, el comportamiento de calderas, torres de refrigeración, etc. Finalmente el módulo Econo calcula los costes de la energía.</p> |
| ECOTEC | <p>ECOTEC es una herramienta de análisis y diseño de edificios muy visual e interactiva desarrollada por Square One. La herramienta considera aspectos térmicos, energéticos, de iluminación, acústicos y de costes. El principal objetivo del software es permitir a los profesionales tomar decisiones, en las etapas de diseño de los edificios, desde una perspectiva sistémica y gracias a las interacciones continuas y visuales considerando los diferentes elementos de diseño. La herramienta, diseñada y programada por arquitectos y que no considera en profundidad otros aspectos sistémicos relacionados con el uso y gestión de los edificios, está destinada prioritariamente a profesionales de este colectivo.</p> |
| EnergyPlus | <p>EnergyPlus es una herramienta basada en las capacidades y elementos más populares de BLAST y DOE-2.1E. EnergyPlus tiene como principal objetivo el llevar a cabo simulaciones integradas (cargas y sistemas) para predecir de forma precisa los comportamientos energéticos, de temperatura y de confort. El módulo EnergyPlus calcula la respuesta de sistemas de calefacción y refrigeración proveyendo de predicciones muy precisas de las temperaturas de las zonas; elemento crucial para el dimensionado preciso de los sistemas, y para los cálculos del confort y la salud de los usuarios de los edificios. EnergyPlus se basa en dos componentes: a) el módulo de simulación de los sistemas de los edificios y b) el módulo de simulación de balance másico y de transferencia de calor. El primero de los dos, se encarga de comunicar los balances del segundo con diferentes módulos de sistemas de calefacción, refrigeración y agua caliente, como por ejemplo, bombas, calderas, ventiladores y otros componentes. El segundo módulo gestiona los módulos de balances de calor, y actúa como interfaz entre el primer y el segundo módulo. Los balances másicos y de calor están basados en el IBLAST (versión de investigación del software BLAST).</p> |
| ESP-r 10.1 | <p>ESP-r, de libre distribución, se ha desarrollado de forma continuada durante los últimos 25 años por la Unidad de Investigación de Sistemas energéticos (ESRU, en sus siglas en inglés) de la Universidad de Strachclyde en Glasgow (Reino Unido). La herramienta, desarrollada por equipos multidisciplinarios y que se estructura bajo la premisa de añadir módulos a medida que el diseño del edificio avanza, funciona bajo la interacción con otros programas existentes como Radiance para obtener resultados más precisos. Debido a la filosofía del programa, este suele ser utilizado no sólo por arquitectos e ingenieros, sino por otros especialistas fuera del entorno de simulación descrito.</p> |

| Nombre | Uso |
|----------------|--|
| IDA ICE 3.0. | <p>IDA ICE 3.0 es una herramienta de simulación energética de edificios para la evaluación del uso de la energía para calefacción, refrigeración, iluminación, etc., y para el confort térmico y la calidad interior del aire. La herramienta es un programa de simulación dinámica multizona que simula, en paralelo al comportamiento del edificio, los diferentes sistemas energéticos de éste. IDA ICE 3.0 está basado en una plataforma de simulación para sistemas modulares; los sistemas físicos de varios dominios se describen mediante el uso de ecuaciones simbólicas mediante los lenguajes NMF y Modelica. El usuario puede definir la tolerancia de los errores de forma que se logra un aislamiento total de los errores numéricos provenientes de las aproximaciones de los modelos. Igualmente el programa ofrece cuatro tipos de interfaces en función del tipo de usuario; a) interfaz orientada: guiando al usuario en la creación del modelo de análisis, b) interfaz estándar: el usuario debe generar el modelo de análisis mediante la selección de conceptos y objetos específicos del dominio como zonas, ventanas o radiadores, c) interfaz avanzada: el usuario puede editar y modificar los modelos matemáticos del edificio sistema y d) programación en NMF o Modelica: para programadores expertos. IDA ICE 3.0 permite obtener una visión integral mediante la simulación acoplada de las demandas energéticas y los sistemas.</p> |
| PowerDomus 1.5 | <p>PowerDomus 1.5, es una herramienta de simulación integral del comportamiento energético de los edificios para el análisis energético y de las condiciones de confort de los mismos. La herramienta simula las trayectorias de la radiación solar y los efectos de las sombras de los edificios cercanos, y genera informes gráficos con los resultados de las temperaturas y humedades de las zonas, así como índice de confort (voto medio previsto y porcentaje de gente insatisfecha, PMV y PPD en sus siglas en inglés), estadísticas de cargas térmicas, temperaturas y humedades superficiales en muros y forjados seleccionados, o flujos de vapor en las superficies. Una de las principales características a destacar del programa es su uso realmente intuitivo, que lo hecho muy popular entre diferentes profesionales del sector de la construcción.</p> |
| Tas 9.0.7. | <p>TAS, desarrollado desde hace más de 20 años, simula dinámicamente el comportamiento térmico de los edificios y sus sistemas energéticos mediante el uso de diferentes módulos. El módulo central es el denominado Diseñador de Edificios TAS, que es un motor de simulación dinámica de edificios que integra flujos de aire tanto forzados como naturales. El módulo tiene gráficos basados en 3D que incluyen conexiones CAD. El programa se reconoce por ser robusto, preciso y con una amplia gama de posibilidades. Además, los constantes desarrollos son revisados considerando los estándares de ASHRAE, CIBSE y ISO / CEN.</p> |

| Nombre | Uso |
|-----------|--|
| TRNSYS 17 | <p>TRNSYS 17 es una herramienta con una estructura modular que fue inicialmente desarrollado para resolver problemas complejos relacionados con sistemas energéticos (entendiendo sistemas en su definición más amplia) mediante la partición de estos problemas en series de componentes más pequeños. Desarrollado inicialmente por el Laboratorio de Energía Solar (SEL , en sus siglas en inglés) de la Universidad de Wisconsin (EEUU), ha sido continuamente actualizado en los últimos 30 años por el propio SEL en colaboración con TRANSSOLAR (http://www.transsolar.com/) y CSTB (http://www.cstb.fr/) así como participaciones de empresas relacionadas (http://www.aiguasol.coop) o miles de usuarios en todo el mundo que han desarrollado diferentes módulos específicos en formato de libre distribución. Los diferentes componentes o subrutinas del que se compone, pueden ser simples (bombas o tuberías) o más complejas (como el modelo de edificio multizona). Estos distintos componentes y subrutinas se caracterizan y se acoplan entre ellas utilizando una interfaz gráfica, mientras que los datos relativos al edificio se introducen mediante un módulo llamado TRNbuild y, desde la última versión, mediante un plugin de Sketchup que permite tener un modelo geométrico. El motor de cálculo actúa resolviendo los sistemas de ecuaciones algebraicas y diferenciales que representan el sistema en su globalidad (edificio, clima, sistemas energéticos, etc.) y en las que el usuario puede escoger entre diferentes valores de los pasos de tiempo anuales (hasta 0.1 segundos). Las librerías de componentes o subrutinas de TRNSYS incluyen múltiples componentes como sistemas térmicos o fotovoltaicos, edificios de bajo consumo energético, sistemas de climatización, y, en general, cualquier sistema variable en el tiempo que se pueda caracterizar utilizando ecuaciones algebraicas o diferenciales. TRNSYS puede gestionar los flujos de aire y calcularlos mediante el uso del módulo TRNFLOW. El programa cuenta con una amplia y buena reputación en los entornos de los profesionales de las consultorías energéticas, así como de ámbitos más académicos . Además el programa ha sido comprobado y validado múltiples veces en diferentes estudios y análisis comparativos.</p> |

De las distintas herramientas presentadas, en segunda instancia se valora su evaluación independiente por organismos competentes. De esta forma, algunas de ellas han sido testeadas, validadas y comparadas en distintas tareas o estudios internacionales, tanto a través de la simulación de múltiples escenarios teóricos, como de la comparación de los resultados obtenidos con valores empíricos. De esta manera, TRNSYS, DOE 2.1E, IDA ICE 3.0 y ESP-R fueron validados en la tarea 22 (herramientas de análisis energético de edificios) de la Agencia Internacional de la Energía (IEA en sus siglas en inglés). Los escenarios de simulación desarrollados por RADTEST (Escenarios de prueba de calefacción y refrigeración radiante, de sus siglas en inglés) [Achermann y Zweifel, 2003] están basados en el ENVELOPE BEST TEST de la tarea 12 de la IEA [Judcoff y Neymark, 1995]. Igualmente TRNSYS, DOE 2.1E e IDA ICE 3.0 estuvieron validados empíricamente tal como se explica en el informe de la IEA "Empirical Validation of Iowa Energy Resource Station Building Energy Analysis Simulation Models" [Travesi, Maxwell, Klaasen y Holtz, 2001]. Finalmente DOE 2.1d, BLAST 3.0, TRNSYS y ESP-r han sido nuevamente validados por bestest y el método de diagnosis [Judcoff y Neymark, 1995]. El hecho de que estas herramientas hayan sido sometidas a estos procesos de

análisis y validación, y que los productores de estas hayan llevado a cabo las modificaciones necesarias para solucionar los problemas aparecidos en estas, es una prueba de la fiabilidad y robustez de las mismas en la resolución del complejo problema de la predicción del comportamiento energético de edificios.

Por todo lo mencionado, cualquiera de las herramientas mencionadas, y en particular aquellas que han sido validadas mediante el BEST TEST, son perfectamente válidas para llevar a cabo un análisis detallado del comportamiento de edificios como el de la presente Tesis. Entre todos ellos, finalmente se ha seleccionado TRNSYS por dos motivos fundamentales:

- ✓ Tal como se ha explicado, TRNSYS es un programa modular que dispone de un motor de cálculo y múltiples módulos o subrutinas que permiten analizar problemas complejos como la suma de diferentes problemas más sencillos. El abanico de subrutinas resulta muy amplio, permitiendo el análisis de problemas muy diferentes. Igualmente al ser un programa abierto, permite la generación de nuevas subrutinas que simulen el comportamiento temporal de cualquier problema transitorio, siempre y cuando se puedan establecer las ecuaciones algebraicas o diferenciales que lo describan. Por todos estos motivos, TRNSYS se considera un programa muy versátil y que permite al usuario simular los escenarios más variados bajo una buena fiabilidad de los resultados obtenidos. En este sentido TRNSYS se considera un programa idóneo, tanto para llevar a cabo múltiples simulaciones con unos resultados que muestren el orden de magnitud correcto, como para analizar aspectos concretos en detalle.
- ✓ Por otra parte, el Doctorando, a pesar de conocer otros programas de simulación dinámica, está especializado en el uso de las herramientas del entorno TRNSYS (el propio TRNSYS, TRNBuild, TRNFLOW, y TRANSOL) de los que no sólo es usuario, si no que ha sido formador en distintos cursos y frente a auditorios cualificados. Este hecho ha permitido centrarse en los aspectos de la investigación presentados de forma rápida y fiable.

El alcance del trabajo presentado requiere, sin embargo, no solo del uso de herramientas de simulación dinámica del comportamiento energético global de los edificios, analizadas hasta este punto, sino de herramientas especializadas en el análisis del comportamiento lumínico en relación a las condiciones ambientales. Efectivamente, dado que el objeto de la presente tesis es el análisis de edificios con proporciones elevadas de huecos en fachada, es

necesario que se considere en detalle las ganancias lumínicas, más allá de las térmicas, que la radiación solar conlleve para con el edificio según sus orientaciones. A pesar que ello pueda parecer un tema, cuando menos, integrado en las herramientas mencionadas hasta el momento, la realidad es que en la mayoría de casos, y TRNSYS no es la excepción, los modelos internos de estas herramientas son simplificados, esto es, no son modelos de *Raytracing*. Los modelos de *Raytracing*, o de trazado de rayos, son capaces de generar una imagen tridimensional desde la perspectiva de un observador o, en este caso, del punto de entrada de la radiación solar a través de los huecos de fachada. Ello permite considerar, para el problema que nos ocupa, la distribución de la iluminación natural en el interior de los edificios, considerando tanto su geometría, como los múltiples efectos de reflexión y refracción dependientes de las superficies que encierran las zonas de análisis.

En base a ello, y a la selección de TRNSYS como motor de cálculo térmico y eléctrico, se consideró la valoración de herramientas de simulación dinámica de iluminación con modelos capaces de simular el *Raytracing* y, a su vez, que permitieran el acoplamiento con la anterior. De las pocas herramientas existentes en el mercado que cumplan estos dos condicionantes destacan, por su uso en la comunidad científica, ECOTECH y DaySim (con motor de cálculo RADIANCE). A pesar que ambas cumplen los distintos condicionantes y premisas establecidas, en los últimos años varios equipos de investigación independientes han llevado a cabo estudios comparativos entre estas y con resultados reales, determinando la incapacidad de ECOTECH para evaluar de forma fiable la mayoría de casuísticas planteadas en escenarios sencillos [Ibarra, 2009]. En este sentido, la incapacidad de la herramienta hace más referencia al análisis de parámetros de iluminación natural, y por ello sus consecuencias sobre la artificial, que a las capacidades de dibujo o de análisis de sombras externas al edificio.

Por ello, el trabajo se ha realizado con DaySim. DaySim (Dynamic Daylight Simulation), es una herramienta de análisis de iluminación natural que permite el cálculo de la disponibilidad de esta en el interior de edificios, así como la incidencia sobre el consumo energético del uso de controles automáticos (sensores de ocupación y/o de iluminación) en comparación a los interruptores convencionales. DaySim, se basa en el motor de cálculo RADIANCE (desarrollado en el Lawrence Berkeley National Laboratory) y ha sido programado como una interfaz gráfica amigable en base a los trabajos del National Research Council Canada y del Fraunhofer Institute for Solar Energy Systems.

CAPÍTULO 2.5. MODELOS PREDICTIVOS DE USO Y GESTIÓN DE LOS EDIFICIOS

Los modelos de comportamiento de los edificios incluyen los perfiles de funcionamiento y gestión de los usuarios. Esto es, aquellos factores dependientes de los usuarios que varían de forma temporal: perfiles de calefacción y refrigeración, temperaturas y humedades de consigna, perfiles de ventilación o comportamientos de iluminación artificial [Reinhart, 2002].

La predicción de los perfiles de uso y gestión de los edificios en las simulaciones de los comportamientos energéticos de estos, pasa por ser uno de los elementos fundamentales a la hora de obtener resultados fiables, principalmente en edificios de uso terciario por su elevada intensidad de ocupación y ganancias internas dependientes. Este hecho, que podría parecer secundario, tiene una importancia capital: sólo en cuanto a la iluminación, considerar correctamente la influencia de los usuarios puede conllevar variaciones finales en el consumo de energía primaria del 40% [Bourgeois, Reinhart, y Macdonald, 2006].

En este sentido existen diferentes enfoques para contemplar estos factores en la simulación del comportamiento energético de los edificios:

- ✓ Perfiles de diversidad. Una primera aproximación es el uso de perfiles de diversidad que contemplan, de forma simplificada, el comportamiento de los usuarios y las consignas de gestión de los edificios. Esta técnica se basa en modelar la influencia de los ocupantes de los edificios a través de los factores de diversidad. Los factores de diversidad son números entre cero y uno que se usan como multiplicadores de una carga máxima definida por el usuario; p.ej., número de ocupantes, potencias máximas de iluminación o cargas producidas por el equipamiento. En este sentido la variabilidad de las cargas, debido al absentismo o la gestión de equipamientos, se define asociando diferentes conjuntos de factores de diversidades en base diaria, o perfiles de diversidad, para días laborales, fines de semana, vacaciones, etc.

La mayoría de los estándares energéticos, y los códigos normativos existentes [CTE, 2007-2013] contienen, o hacen referencia, perfiles de diversidad para las demostraciones del cumplimiento de determinadas actuaciones [ASHRAE, 2013a]. En este sentido, existe literatura donde se da una visión del abanico existente de métodos de creación de perfiles de diversidad [Abushakra, Haberl. and Claridge, 2004], o se hace una recopilación de los perfiles y factores de diversidad más comunes para el cálculo de las demandas energéticas los edificios de oficinas

[Abushakra, Sreshthaputra, Haberl y Claridge, 2001] en base a datos de consumos eléctricos de edificios auditados (no de ocupación ya que otros estudios [Claridge y Abushakra, 2001] han establecido una correlación directa entre los datos de ocupación y las de consumo eléctrico para iluminación de manera que los perfiles de diversidad para empleo pueden derivarse de los de iluminación utilizando regresiones lineales). Sin embargo, estas correlaciones se ponen en entredicho, al menos en sus variantes existentes, desde la aparición masiva de elementos domóticos que hacen más compleja la relación entre estas variables.

De todo ello se deduce que los perfiles de diversidad suelen ser adecuados para grandes zonas que contengan múltiples espacios, y considerando la posibilidad de predecir los perfiles de empleo para conjuntos de días (p.ej.: días laborales) independientemente de factores como las condiciones climáticas externas. Esto hace que los modelos de diversidad sean válidos, sobre todo, en edificios con poca piel, ya que en el caso de edificios con un factor de forma elevado las variaciones de los perfiles de uso y gestión en función de las condiciones climáticas sí son perceptibles. En este sentido, es necesario considerar el grado de fiabilidad derivada de la aplicación de estos tipos de perfiles cuando se trabaja en edificios muy abiertos, como por ejemplo en aquellos donde se quiera potenciar la iluminación natural y que sigan los preceptos de algunas guías existentes como LEED [LEED, 2002]. Este efecto es, sobre todo, apreciable cuando se trabaja bajo la suposición de la participación activa de los usuarios en el funcionamiento del edificio, mientras que puede ser menos importante en el caso de usar sistemas automatizados bien diseñados.

Por otra parte, otros estudios señalan que se debe tener cuidado cuando se utilizan los perfiles de diversidad en edificios en que se busca el uso de estrategias de control que sean altamente sensibles a las variaciones de empleo en espacios de tiempo muy cortos [Degelman, 1999], proponiéndose una mejora en función de aproximaciones por el método de Monte Carlo basándose en estadísticas provenientes de encuestas. Igualmente otros autores [Keith, 1997] han demostrado como el uso de perfiles medios, a través de sensores de control de empleo, pueden conducir al sobre-dimensionamiento de los ahorros energéticos. Para solucionar este inconveniente, se propone el uso de los perfiles de diversidades introduciendo días pico (días con

mayores índices de ocupación), de forma que se corrija la tendencia a infra-dimensionar las demandas energéticas.

Todos los casos mencionados, se focalizan en la mejora de las predicciones de ocupación para poder evaluar, de forma más precisa, los ahorros energéticos derivados del uso de sensores de ocupación en diferentes ámbitos. De esta manera se solucionan los posibles errores en el dimensionado de las demandas de calefacción y refrigeración. A pesar de ello estos modelos fallan, sobre todo, en aspectos de iluminación y en el caso de querer hacer dimensionados muy precisos, ya que no son capaces de predecir los impulsos de los ocupantes que a menudo responden a estímulos del entorno, provocando cambios abruptos en los comportamientos [Newsham, 1994]. Esto deriva en la necesidad, en caso de predicciones detalladas, de definir y utilizar modelos de comportamiento avanzados que puedan predecir la percepción y respuesta de los ocupantes a los estímulos del entorno [Bourgeois et Al., 2006].

- ✓ Perfiles de comportamiento avanzado. Los modelos de perfiles de comportamiento avanzados, permiten contemplar efectos de uso y gestión de los edificios de forma más precisa, lo que deriva en unas simulaciones con un grado de fiabilidad más profundo. Esto permite ajustar las demandas, permitiendo afinar en las premisas de uso y gestión de los edificios y, por tanto, reducir los consumos de energía primaria final de estos. En este sentido, estos modelos resultan indicados en las fases avanzadas de diseño en las que se deben definir los diferentes elementos en grado de proyecto ejecutivo.

Este tipo de perfiles se han ido introduciendo en los últimos años en ámbitos específicos. En 1979, se diseñó el primer modelo estocástico para calcular la probabilidad del encendido de luces artificiales en la llegada de los ocupantes de los edificios [Hunt, 1979]. Más adelante, en 1995, se propuso el primer modelo estocástico para predecir las entradas, salidas y absentismos temporales de los personales en entornos de oficinas [Newsham, Mahdavi, y Beausoleil-Morrison, 1995]. A partir de este modelos se han ido proponiendo modelos más refinados para considerar, en un grado de detalle muy elevado, los comportamientos relativos a elementos como la iluminación [Reinhart, 2002], o el uso de aperturas de ventanas.

En la actualidad, existen modelos muy avanzados que tratan aspectos individuales derivados del uso y gestión de los edificios de forma muy precisa pero poco intuitiva.

Entre ellos destaca el modelo de control sub-horario en función de la ocupación [Reinhart, 2002]. Este modelo evita el uso de comportamientos medios de grupos de objetos, para centrarse más en el seguimiento de objetos singulares. Así por ejemplo, el modelo en vez de considerar variaciones puntuales del comportamiento de los usuarios o de grupos de equipamientos, sigue ejemplos individuales de ocupantes y objetos controlados por estos cuyo estado depende del control y movilidad personales. La mayoría de modelos existentes trabajan agrupando comportamientos medios de usuarios, instalaciones o grupos de luminarias. Algunos de ellos, incluso, trabajan en subgrupos como por ejemplo, la diferenciación entre los comportamientos de estudiantes y profesores en edificios de uso académico. En el caso del modelo propuesto por Reinhart (SCHOCC en sus siglas en inglés), no se aplican perfiles a los esquemas tradicionales de simulación, sino que se crean objetos controlados por ocupación dentro de espacios controlados por ocupación que, de manera conjunta, devienen zonas térmicas de los edificios dentro de un proyecto determinado. Este modelo se integra en un componente simulable por sí mismo, y adaptable a los diferentes programas de simulación energética de los edificios.

En el caso de estos tipos de modelos de comportamiento avanzados cabe destacar que, por una parte, éstos han sido adaptados, hasta ahora, solo para tipologías concretas de edificios; en concreto, los esfuerzos se han enfocado en edificios de oficinas. Por otra parte, la aplicación de estos modelos en simulaciones del comportamiento energético de edificios, requieren de unos conocimientos específicos y esfuerzos de cálculo, justificables en caso de que el grado de precisión deseado sea muy elevado. Esto es, en las etapas de diseño de detalle de ejecutivo en que deban terminar de definir estrategias concretas de edificios singulares.

Igualmente mencionar que, en la actualidad, se están dedicando muchos recursos en la obtención de modelos de ocupación calibrados con datos reales que permitan, no solo aumentar la fiabilidad de los resultados, sino que formen parte de la integración entre sistemas de simulación energética de edificios (BEPS en sus siglas en inglés), con sistemas de gestión energética de edificios (BEMS en sus siglas en inglés), para alcanzar los anhelados sistemas de gestión predictiva inteligente.

En la selección del modelo a implantar para las simulaciones de la presente tesis, se consideró que la consecución de los objetivos pasaba por la evaluación de una serie de escenarios de edificios que permitieran, en general, conocer el funcionamiento energético

de los mismos y, en concreto, la influencia entre el diseño y el uso y gestión de las diferentes construcciones planteadas. Este último hecho permitiría, al mismo tiempo, obtener un orden de magnitud de la influencia del uso y gestión de los edificios en el consumo energético de los diferentes escenarios de manera que los futuros ocupantes de construcciones diseñadas bajo las metodologías descritas, puedan ser conscientes del peso de su actuación.

Por todos estos motivos, se han utilizado una combinación de los perfiles de diversidad y de los perfiles de comportamiento avanzado, en función del tipo de análisis realizado. De esta forma, la evaluación de los escenarios de referencia iniciales se ha realizado considerando perfiles de diversidad, con adaptaciones al uso concreto de los edificios. En el caso del análisis de los escenarios de operación y gestión de los edificios, se utilizó un modelo mixto por el que, la regulación del funcionamiento de los elementos de sombra móviles se evaluó en base a perfiles de comportamiento avanzados, mientras que el resto de perfiles utilizados son de diversidad.

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA

Como ya se describió en el Capítulo 1, la metodología de trabajo se estructura en base a tres fases de posicionamiento y definición detallada del problema (Fase 1), de determinación del comportamiento de los escenarios (Fase 2), y de análisis de los modelos de gestión y uso de los edificios (Fase 3). Dichas fases, que estructuran el trabajo desde una vertiente conceptual, se desglosan según las siguientes tareas,

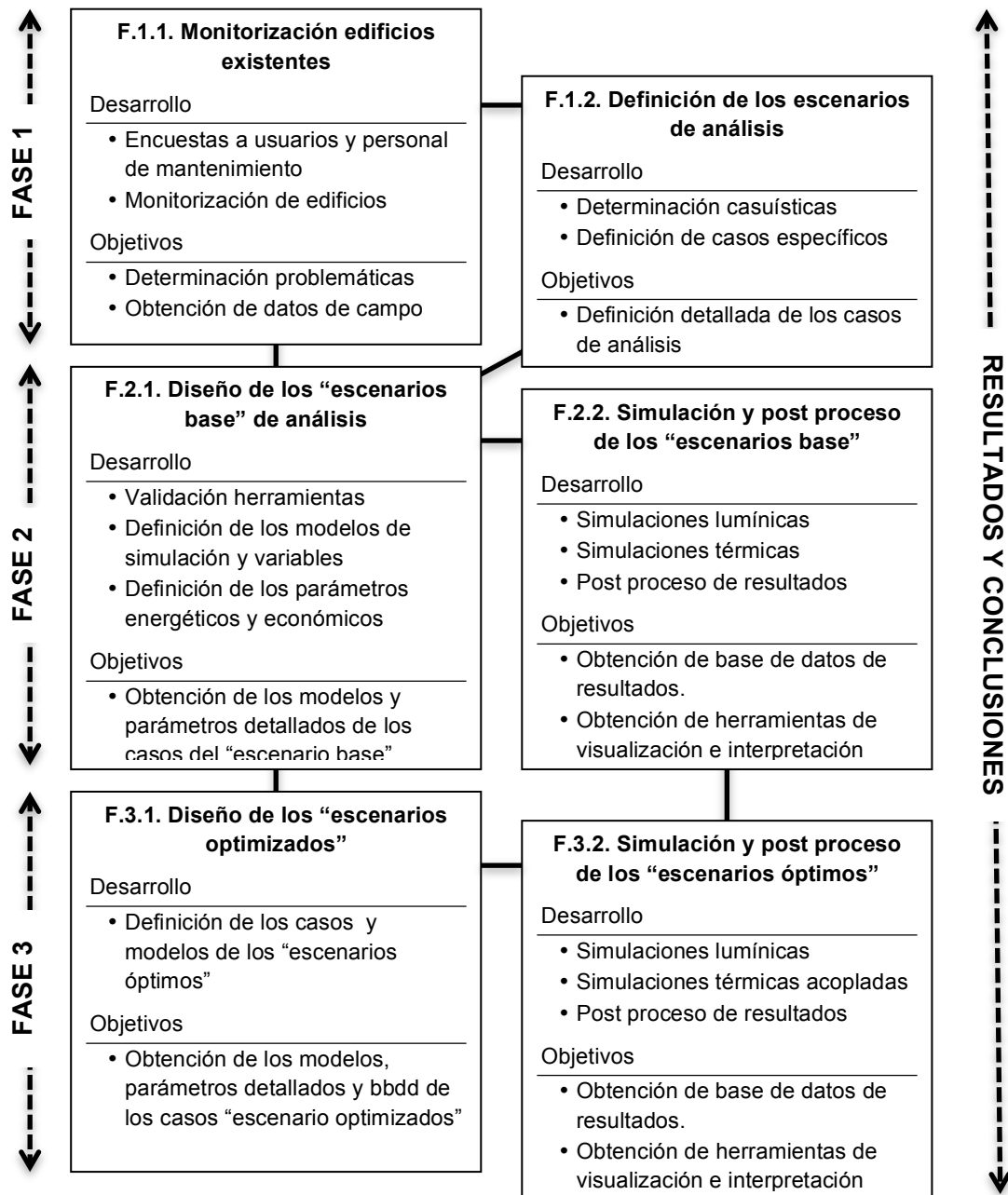


Figura 20. Esquema de las fases y tareas de trabajo seguidos. Fuente: elaboración propia

En base a ello se explica, a continuación, la metodología de trabajo detallada para cada una de las tareas.

CAPÍTULO 3.1. FASE 1 DE DEFINICIÓN DETALLADA DEL PROBLEMA

Los objetivos específicos de esta fase pasan por la determinación fehaciente de problemáticas reales, la obtención de datos de campo y, en última instancia, la definición detallada de los casos de análisis que conforman el “escenario base”. Cabe remarcar que muchas de las definiciones y decisiones desarrolladas en estas tareas, aplican posteriormente a las otras fases de trabajo.

3.1.1. F.1.1. MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS EXISTENTES

La monitorización de edificios existentes tiene una doble finalidad que es la determinación, por una parte, de problemáticas reales en edificios de las características de análisis y, por otra parte, obtener una base de datos de mediciones de variables de comportamiento térmico y lumínico que permitan, posteriormente, valorar las herramientas de simulación dinámica. En este sentido, cabe remarcar que tanto la planificación de esta tarea, como los resultados obtenidos de la monitorización, no se entienden dentro de un contexto de calibración de las herramientas, sino de validación de las problemáticas y de las hipótesis a utilizar y los análisis a realizar.

Efectivamente, en el análisis comparativo desarrollado es necesario determinar que la problemática supuesta existe en la realidad, y valorar cuales son las hipótesis a considerar, para que los casos a analizar se asemejen lo más posible a situaciones de comportamiento real. Este objetivo marca el alcance de esta tarea tanto en la metodología empleada (encuestas, monitorización de variables características y análisis de facturación, cuando os hubiere), como en los tempos de la misma (con monitorizaciones de períodos acotados). De esta forma, resulta importante remarcar que el objetivo de esta tarea no es el de calibrar modelos matemáticos de los edificios reales analizados. Ello solo tendría sentido en un análisis orientado a otros objetivos (como el seguimiento de casuística futuras de estos mismos edificios), y comportaría tanto una metodología de trabajo orientada (con otras variables de monitorización, por ejemplo), como un período de evaluación más prolongado (al menos durante las estaciones de invierno, verano y un entretiempo), a imagen y semejanza de lo que se establece, por ejemplo, en el protocolo de medida y verificación IPMVP [IPMVP, 2014].

En este contexto, se solicitó al Consorci de la Zona Franca (en adelante CZF) que pusiera a disposición del proyecto edificios que cumplieran con las características de los casos de análisis. Esto es, que fueran edificios de oficinas con elevada proporción de hueco en

fachada y en Barcelona. De esta forma, el CZF ofreció diversas alternativas, cada una de ellas referenciadas en base a fichas descriptivas y encuestas de confort realizadas por la propia empresa. Del análisis de la información disponible, y utilizando como principal premisa de selección la amplitud de la muestra, esto es, la máxima variabilidad de soluciones de piel y orientaciones, se seleccionan 6 de los edificios.

Los edificios disponen de distintas soluciones de piel, de proporción de huecos, tipología de vidrios y orientaciones, que son las principales variables de análisis establecidas.



Figura 21. Imágenes de los edificios seleccionados para la monitorización. Fuente: elaboración propia

Tabla 2, Nombre y ubicación de los edificios seleccionados. Fuente: elaboración propia

| Edificio | Dirección | Situación |
|-------------------|---|--------------------------|
| Edificio Nexus I | C/ Gran Capità, s.n. 08034, Barcelona | Urbana (Campus Nord UPC) |
| Edificio Nexus II | C/ Gran Capità con Jordi Girona. 08034, Barcelona | Urbana (Campus Nord UPC) |
| Edificio BP | C/ 60 – Zona Franca, nº 19. 08040, Barcelona | Polígono (Zona Franca) |
| Edificio ZEPI | C/ 60 – Zona Franca, nº 25-27. 08040, Barcelona. | Polígono (Zona Franca) |
| Edificio El Pla | C/ El Pla, 166. 08980, San Feliu De Llobregat | Polígono |
| Edificio Aduanas | C/5, Zona Franca, nº 9/23. 08040, Barcelona | Polígono (Zona Franca) |

En el Anexo I del presente documento, se ofrece información descriptiva de los 6 edificios seleccionados, obtenida a partir de primeras visitas realizadas, y de las fichas informativas previas de la propia empresa del CZF. Igualmente, y tal como se describe en una tarea posterior, se han realizado levantamientos arquitectónicos y constructivos de zonas tipo de estos edificios, en última instancia utilizadas para la modelización de los mismos y la validación de las herramientas de simulación, pero también útiles en los planteamientos de puntos de monitorización.

En este sentido, la monitorización se plantea a nivel de zonas representativas de los edificios, y con el fin de obtener datos característicos de las condiciones interiores de las mismas, y no de los consumos asociados. De esta forma, y en relación a la selección de las distintas zonas monitorizadas de los edificios seleccionados, se considera:

- I. Que sean representativas, en uso y ocupación, del edificio.
- II. Que representen distintas orientaciones para cada edificio.
- III. Que una de las zonas por edificio, en la medida de lo posible, esté desocupada permitiendo su evaluación en libre evolución (esto es, sin condiciones de climatización, ni iluminación).

En base a ello, y para cada uno de los edificios seleccionados, se tiene la siguiente relación de zonas de monitorización,

Tabla 3. Descripción de las zonas de monitorización por edificios. Fuente: elaboración propia

| Edificio | Zona | Descripción |
|-------------------|--------------|--|
| Edificio Nexus I | Oficina 101 | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación NE |
| | Oficina 107 | Zona desocupada de 1ª planta con orientación SW |
| | Oficina 110 | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación SE |
| Edificio Nexus II | Zona diáfana | Zona diáfana ocupada de oficinas de 1ª planta con |

| Edificio | Zona | Descripción |
|------------------|----------------------|---|
| | | orientación W |
| | Despacho entrada BSC | Zona desocupada de 1ª planta con orientación SE |
| | Despacho extremo BSC | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación SW |
| | Despacho PB | Despacho ocupado de oficinas de planta baja con orientación NW |
| Edificio BP | Despacho N | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación N |
| | Oficina desocupada | Zona desocupada de 1ª planta con orientación W |
| Edificio ZEPI | Zona diáfana | Zona diáfana ocupada de oficinas de 2ª planta con orientación N |
| | Despacho S | Despacho ocupado de oficinas de 2ª planta con orientación S |
| | Oficina desocupada | Zona desocupada de 1ª planta con orientación S |
| Edificio El Pla | Despacho SE | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación SE |
| | Despacho NW | Despacho ocupado de oficinas de planta baja con orientación NW |
| Edificio Aduanas | Zona diáfana PB | Zona diáfana ocupada de oficinas de 1ª planta con orientación E |
| | Zona diáfana P1 | Zona diáfana ocupada de oficinas de 1ª planta con orientación E |
| | Despacho P1 | Despacho ocupado de oficinas de 1ª planta con orientación NW |
| | Hueco escalera | Hueco de escaleras con orientación E |

Para cada uno de los espacios monitorizados, se requiere obtener parámetros que determinen las condiciones interiores de las mismas, tanto a nivel de confort térmico, como lumínico. Se considera que estos parámetros son los que ofrecen información sobre las condiciones interiores de los edificios relacionadas con su diseño arquitectónico y constructivo y, por otra parte, permite la validación de las herramientas en libre evolución. Ello, además, simplifica la instalación requerida de monitorización, tanto en alcance de sensores, como en número de elementos a controlar. De esta forma, y para cada zona de toma de datos, se monitoriza:

- ✓ Temperatura ambiente interior
- ✓ Temperatura de superficie transparente de fachada interior
- ✓ Temperatura de superficie transparente de fachada exterior
- ✓ Luminosidad interior a varias distancias de fachada
- ✓ Humedad relativa interior

Esto se realiza con sensores de temperatura y humedad, sensores de iluminación, y sensores de temperatura superficial de la marca Hobo con *dataloggers* integrados que permiten almacenar la información capturada durante todo el periodo de toma de datos.

Durante el proceso de instalación de los sensores, se documentan los puntos de instalación de los mismos, tanto en base a esquemas CAD, como con fotografías.

Colocación de sensor externo de superficie en Nexus I



Sensores de superficie en Centre de Serveis el Pla



Colocación de sensores de superficie de muro cortina Nexus II



Instalación de sensores de temperatura en fachada BP



Sensores de superficie y central meteorológica en Edificio Aduanas



Sensores de superficie y ambientes en edificio ZEPI



Figura 22. Imágenes sobre la colocación de sensores en los edificios seleccionados. Fuente: elaboración propia

Igualmente se decide la instalación de centrales meteorológicas (Temperatura, Humedad relativa, y Radiación solar) para los edificios utilizando una única central meteorológica para todos los edificios considerando la rotación en los períodos de monitorización, y la proximidad entre edificios.

Efectivamente, y dada la naturaleza y los objetivos del proyecto, la monitorización se realiza en períodos de una semana (incluyendo fin de semana). Aunque se considera que se trata de un periodo limitado, y acotado en la estación del año, se valora que éste resulta suficiente para alcanzar los objetivos de determinación de problemáticas inherentes, y validación de las herramientas de simulación (en cuanto que no se trata de una calibración de modelos para su posterior uso, sino de validación de hipótesis y modelos), más cuando se combinan estos datos con las encuestas realizadas.

Así los edificios se emparejan en función de su cercanía considerando, por un lado, los recursos humanos y equipamientos disponibles y, por otro, la instalación de una única central meteorológica útil para los dos edificios en una misma semana. Como excepción, en uno de los casos se realiza la monitorización de forma individualizada debido a retrasos en la gestión de los permisos correspondientes de las empresas arrendatarias de los mismos.

Tabla 4. Período de monitorización y agrupación de edificios. Fuente: elaboración propia

| Semanas | Edificios |
|------------------------------|----------------------------|
| Semana 1 de finales de otoño | Edificio Nexus I |
| Semana 2 de finales de otoño | Edificios BP y ZEPI |
| Semana 3 de finales de otoño | Edificios El Pla y Aduanas |
| Semana 4 de finales de otoño | Edificio Nexus II |

Después de una semana de recolección de datos (en formato diez minutas), en cada caso se vacían los valores de los *dataloggers* a portátiles, se reprograman y se reinstalan en los siguientes edificios. De esta forma es posible llevar a cabo una comprobación rápida de los datos obtenidos para la detección de anomalías y, si se requiere, dejar una semana más los sensores.

Los datos obtenidos en la monitorización, se trabajan y post procesan con el fin de detectar posibles problemáticas existentes en las zonas (y los edificios de éstas), así como posibles relaciones causa-efecto. Para ello, se generan unas plantillas en formato Excel que, a partir de los resultados obtenidos de los *dataloggers*, generan gráficas de análisis tanto para series temporales (semanas enteras), como para días tipo (tanto de ocupación, como de fin de semana). En cada caso se representa los valores medidos (tanto de central meteorológica, como de zonas de análisis), así como variables cruzadas que relacionen tanto estas mismas variables, como otras derivadas de ellas (perfil de ocupación, perfil de ventilación, PMV y PPD) y normativas (temperaturas de consigna y luminosidad normativa). En el capítulo de resultados se ofrece una síntesis de los datos obtenidos y post procesados de las campañas de monitorización.

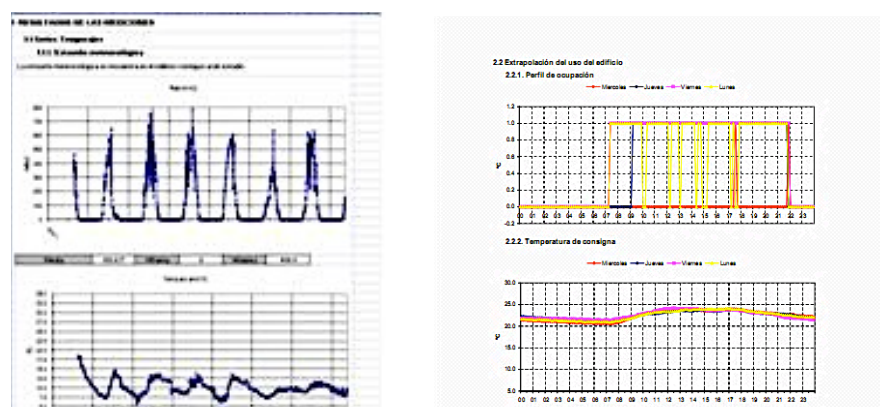


Figura 23. Ejemplos de representación gráfica de los datos obtenidos de monitorización. Fuente: elaboración propia

Paralelamente a las tareas de monitorización, se llevan a cabo recogidas de datos, con ayuda del personal de mantenimiento de los edificios, así como encuestas a los usuarios. Respecto a las primeras, se trata de recabar el máximo de información relativa a los sistemas de generación energética, la regulación de los mismos y de las condiciones de operación interior de las zonas, del diseño y operación de iluminación, de las operaciones de mantenimiento, y otros datos como los horarios de servicio de limpieza. Dichas informaciones, que no siempre se han podido recabar por disponibilidad de los actores implicados, complementan la información ya disponible de los edificios (referida en el Anexo I) y, por tanto, ayudan a entender la realidad de cada caso, más que ser un elemento de uso específico posterior.

Bajo esta misma premisa, se llevan a cabo encuestas a usuarios en relación a,

- ✓ Actuaciones individuales frente a disconfort térmico (uso de equipos individuales, apertura de ventanas, etc.).
- ✓ Regulación de las protecciones solares, cuando las hubiere.
- ✓ Regulación de la apertura de puertas.
- ✓ Perfiles de funcionamiento de equipos personales.

Nuevamente se trata de aportaciones que permitan interpretar mejor los resultados obtenidos, más que datos cuyo uso posterior sea fundamental para ninguna de las tareas planteadas.

The image shows a screenshot of a survey form. At the top, there are fields for 'EDIFICIO', 'FECHA VISITA', and 'NOMBRE AUDITOR'. To the right are logos for 'aiguasol', 'alia', and 'CONSORCIO'. The main title is 'TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR'. Below this is a section titled 'ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO' which contains a table with 10 rows and 8 columns. The columns are labeled with questions related to thermal comfort and user behavior.

| | Nombre y zona | ¿Pasa frío o calor? | ¿En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc.)? | ¿En cualquier momento, ¿pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción? ¿y o frío cuando hay calefacción? | ¿Cual hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa? | ¿Apagan los equipos al irse a comer? ¿y cuando les van? | ¿Suelen permanecer cerradas las puertas? | ¿Cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles? |
|----|---------------|---------------------|--|--|---|---|--|--|
| 1 | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 24. Captura de pantalla de la encuesta tipo facilitada a los usuarios. Fuente: elaboración propia.

Aunque se obtiene un número limitado de encuestas rellenas por usuarios (descritas en el Anexo II), se considera el interés de las mismas como información complementaria que ayude a interpretar los resultados obtenidos.

3.1.2. F.1.2. DEFINICIÓN DE LOS ESCENARIOS DE ANÁLISIS

El desarrollo de la tarea busca obtener una matriz de escenarios posibles de edificios de oficinas transparentes que reflejen, con la máxima amplitud posible, un abanico de posibilidades teóricas, el análisis de las cuales es la base de las conclusiones finales del proyecto. Para ello, es necesario describir las principales variables que definen los casos de análisis del escenario base.

En primera instancia, es importante remarcar que, tal como se ha especificado en el Capítulo 1, el desarrollo de esta tarea se ha realizado bajo la normativa vigente en el momento del análisis, es decir, el Código Técnico de la Edificación, en su versión 2007 [CTE, 2007]. Sin embargo, y en el momento de redacción del presente documento, ha aparecido la actualización del capítulo HE de energía. En la actualidad, éste obliga a todos los edificios terciarios de nueva promoción a obtener una cualificación mínima de letra B. Debido a la metodología empleada y al ámbito de análisis, no es posible asegurar que todos los casos definidos cumplan con esta limitación. Para ello, sería necesario analizar cada uno de ellos, hecho que escapa a las posibilidades y objetivos del presente análisis. Sin embargo, es importante también remarcar que este hecho no debe modificar el foco del análisis, ni la constatación de las tendencias que se concluyen del mismo, tal como se muestra en el Capítulo 1.4 del documento.

Previa a la definición de las distintas variables que conforman el conjunto de casos del escenario base, se determina el objeto de análisis del mismo. Aunque ello pueda parecer una obviedad, y pese a que el objetivo del análisis es la evaluación de una determinada tipología de edificios para un clima concreto, el análisis se plantea como un ejercicio comparativo en el que, los valores absolutos, solo son importantes a nivel de orden de magnitud y de las tendencias observadas. Ello deriva en la posibilidad de definir el objeto de estudio, no como un edificio entero, sino como una zona tipo del mismo. Las propias herramientas normativas de certificación utilizan este recurso en edificios en que la simetría entre plantas sea evidente. Este recurso, por el que se debe considerar que los cerramientos interiores son adiabáticos, permite reducir, de forma significativa, los recursos de máquina necesarios para acometer la simulación de todos los casos planteados,

sin reducir la fiabilidad de los resultados cuando estos se entienden en el contexto del análisis planteado.

De esta forma, se ha definido un módulo tipo, de forma rectangular, en la que una de sus caras representa la piel exterior o fachada del edificio, mientras que las otras sean representativas de cerramientos internos, sean verticales u horizontales en forma de forjados para con otras zonas de idéntico comportamiento. Las dimensiones de este módulo se definen en función de una profundidad y anchura características por limitantes estructurales (una dimensión superior de ambas, comporta el uso de elementos constructivos singulares que encarecen la obra), y una altura tipo que, pese a no existir referencias, se puede considerar habitual en el sector de la construcción.

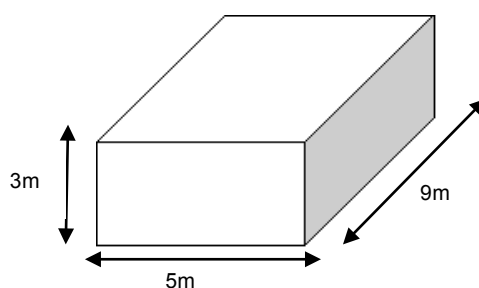


Figura 25. Esquema de la zona tipo de análisis. Fuente: ALIA

En primera instancia, los resultados de la monitorización permiten tener un conocimiento real del comportamiento de ciertas soluciones constructivas de fachadas acristaladas pero, para tener un conocimiento general, debe ampliarse el conjunto de casos a un abanico que complete los tipos de las fachadas y que abarque, con una discretización razonable, el máximo de soluciones posibles. En este sentido, las soluciones arquitectónicas y constructivas relativas a la tipología de fachadas, constituyen un primer parámetro esencial a considerar. En base a ello se desarrollan, por parte del equipo de ALIA, con el asesoramiento del resto de equipos, distintas casuísticas a considerar.

En la clasificación de las diferentes tipologías de soluciones de fachadas acristaladas, por su configuración formal, se establecen 6+1 tipologías básicas. Dichas tipologías se consideran en base a la constatación que los edificios pueden construirse en base a soluciones opacas inerciales, muros cortina, y fachadas de doble piel. Evidentemente dentro de estas categorías pueden existir múltiples variaciones, no solo en base a la proporción de huecos, sino a la relación y configuración de materiales utilizados en las partes opacas. Derivando la consideración de todas estas variables en un conjunto de casos

inabarcable, se ha tendido a definir, de forma subjetiva, una muestra de la misma que se considera representativa de un amplio abanico de casos reales. En concreto:

- ✓ F01 - Fachada tipo Ventana. Solución convencional con elevada proporción de huecos (más del 50%).
- ✓ F02 - Fachada tipo Continua. Fachada tipo muro cortina.
- ✓ F03 - Fachada con Cámara No Ventilada. Fachada de doble piel en la que se supone la ventilación según los parámetros de comparación entre temperaturas y velocidad del viento, pero sin ningún tipo de intervención humana que condicione dichas renovaciones. El modelo trata el efecto convectivo de forma simplificada considerando el aumento de renovaciones cuando la temperatura interior de las pieles es mayor que la exterior.
- ✓ F04 - Fachada con Cámara Ventilada. Fachada de doble piel en la que se considera un booleano (1, 0), para favorecer que en determinadas situaciones se facilite o se impida las renovaciones de aire. Se trabaja con la hipótesis de favorecer el factor “colchón de aire caliente” en los momentos en que el interior del edificio demande calefacción, y promover el movimiento de aire en los momentos que el interior de la zona demande refrigeración. Para ello, se trabaja con un modelo que compara, para cada instante, las temperaturas ambiente exterior, interior de la cámara e interior de la zona, y en base a ello acciona o para el sistema de renovaciones forzadas de la doble cámara. Estas se suponen con un máximo de 0,015m/s y un mínimo de 0,001m/s. Valores superiores a éstos no tienen ningún tipo de efecto sobre el modelo debido a los pasos de tiempo considerados en las simulaciones. Utilizando otras hipótesis se podrían dar resultados ligeramente diferentes, pero se considera que los órdenes de magnitud y las tendencias se mantendrían constantes.
- ✓ F05 - Fachada tipo Optimización Lumínica. Fachada con acabados interiores adjuntos a la piel, diseñados para el máximo aprovechamiento de la iluminación natural, tanto por su forma (con una sección en ángulo), como por su acabado (de materiales con coeficiente de reflexión elevados).
- ✓ F06 - Fachada con Cámara Ventilada con Aprovechamiento de Aire para climatización. En las que se supone que el volumen y régimen de recirculaciones, idénticos al caso anterior, se reaprovechan doblemente haciendo circular dicho aire por el falso techo. La operación prevista compara, como en el caso anterior, la situación de las temperaturas interiores de zona, de cámara y exterior y, en base a

ello, establece si el aire de la cámara debe ser expulsado al exterior, o mantenido de forma estanca, o recirculado al interior en la zona de forjado. Evidentemente existen otros modelos (no analizados) de aprovechamiento de este aire como, por ejemplo, utilizarlo como entrada a los sistemas de clima.

- ✓ F00 - Fachada ciega de Referencia. Fachada convencional con una proporción de huecos inferiores al 30%.

Para cada una de ellas se desarrollan los modelos CAD correspondientes de detalle arquitectónico y constructivo, que se pueden encontrar en el Anexo III del documento.

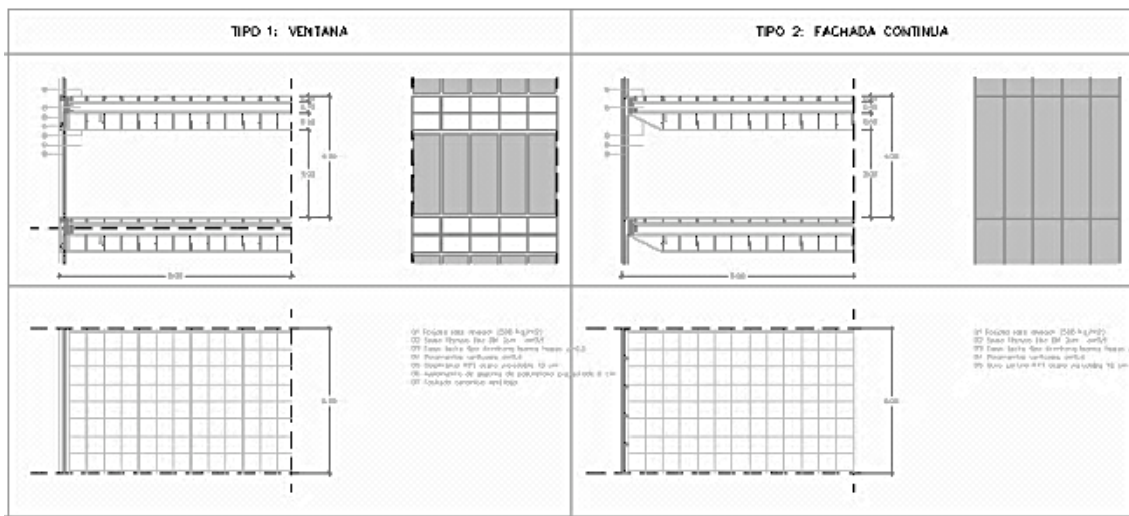


Figura 26. Ejemplo de los modelos CAD de definición de tipologías de fachada. Fuente: ALIA

Remarcar que los edificios monitorizados corresponden todos a una de las 6 tipologías de fachada definidas: el edificio Aduanas, la fachada tipo 1 (despachos) y 2 (resto), los edificios de El Pla, BP, centro de servicios y Nexus I al tipo 2, y el edificio Nexus II al tipo 5.

En segunda instancia, se realiza una selección de tipologías distintas de acristalamientos y marcos, es decir, de huecos. Nuevamente considerar todas y cada una de las posibilidades de mercado resultaría inabarcable en el contexto del análisis. Por ello se procede a seleccionar un número acotado de casuísticas que, considerando sus parámetros característicos de comportamiento físico, abarquen el máximo espectro posible de casos.

En concreto,

- ✓ Opción 1. Vidrios dobles transparentes con carpintería sin rotura de puente térmico.
- ✓ Opción 2. Vidrios dobles de baja emisividad con marco de aluminio con rotura de puente térmico.

- ✓ Opción 3. Vidrios dobles reflectantes ligeros con marco de aluminio con rotura de puente térmico.
- ✓ Opción 4. Vidrios dobles reflectantes especulares con marco de aluminio con rotura de puente térmico.
- ✓ Opción 5. Vidrios dobles con gas noble entre ellos y con marco de aluminio con rotura de puente térmico.
- ✓ Opción 6. Vidrios dobles mixto con parte de reflectantes ligeros y parte de TIM (materiales de aislamiento transparente) y con marco de aluminio con rotura de puente térmico.

En donde, se resumen en la siguiente tabla las características físicas de las distintas soluciones de vidrios,

Tabla 5. Escenarios de tipos de vidrios. Fuente: elaboración propia

| Tipología | Descripción | U [W/(m ² K)] | g | T _v (%) |
|--------------------------------|---|-----------------------------|------|-----------------------|
| Claro Transparente | Vidrio doble 4-6-4 con cámara de aire | 3,4 | 0,76 | 69% |
| Baja emisividad elevado | Vidrio doble 4-12-4 con cámara de aire | 1,4 | 0,53 | 74% |
| Reflectante ligero | Vidrio doble 6-12-6 con cámara de aire | 1,4 | 0,46 | 46% |
| Reflectante fuerte (especular) | Vidrio doble 6-12-6 con cámara de aire | 1,9 | 0,11 | 7% |
| Cámara de gas noble | Vidrio doble 6-12-6 con cámara de Kriptón | 1,04 | 0,47 | 65% |
| Doble mixto | Combinación de reflectante ligero y TIM | ad ¹ | ad | ad |

En donde, por una parte cabe destacar que las fachadas que tengan cámara de aire, se presupone que el cerramiento externo siempre es un vidrio simple estructural. Por otra parte, la opción 6 trabaja con materiales de aislamiento transparente (TIM en sus siglas en inglés). Este tipo de materiales están formados por materiales traslúcidos (habitualmente policarbonatos), que en una disposición que se asemeja a un panel de abejas, consigue un doble efecto de, por una parte, aislamiento térmico y, por otra parte, protección de la radiación solar directa y su transformación a difusa.

A continuación se definen las distintas variaciones de elementos de sombra a considerar. Para ello se tiene en consideración:

¹ A determinar en la tarea T4

- ✓ Sombras del entorno. Entendidas estas como las que proyectan los edificios que se sitúan a los alrededores del edificio objeto, o de análisis. En este sentido, se valoran dos posibilidades:
 - Que el edificio de análisis esté situado en un entorno, denominado “polígono”, en el que no existan de forma significativa elementos (edificios) causantes de sombreados.
 - Que el edificio de análisis esté situado en un entorno, denominado “ciudad”, en el que se considere una trama urbanística característica. En este sentido, y considerando la variabilidad de este concepto, se define una trama característica de la ciudad de Barcelona, por coherencia con el marco del proyecto. En concreto, el análisis se realiza con la trama del Eixample de Barcelona, generada por el propio autor en el desarrollo del Plan de Mejora Energética de Barcelona [PMEB, 2001].
- ✓ Sombras de elementos fijos propios del edificio. Entendidas como las que proyectan elementos constructivos fijos, o voladizos. Aunque el número de posibilidades pueda ser elevado, se seleccionan dos casuísticas extremas: la no existencia de voladizos, o que estos tengan una longitud equivalente a un tercio de la altura del hueco. Aunque no existen referencias al respecto, se considera que este es un valor medio óptimo a orientación Sur.
- ✓ Sombras de elementos móviles. Entendidas como las que proyectan elementos no constructivos situados en el interior de las zonas. Nuevamente existe un amplio abanico de soluciones, no solo de familias tipológicas (screens, lamas horizontales, lamas verticales, cortinas correderas, etc.) sino de materiales y acabados que, en relación a la variable de iluminación, pueden tener un peso relevante. Análogamente al caso anterior, y sin perder el foco del objetivo principal del análisis, se definen dos casuísticas extremas: la no existencia de elementos de sombra móviles, y la existencia de lamas horizontales practicables al exterior de la zona. Se entiende que esta es una solución media que, en análisis de detalle, puede optimizarse en, por ejemplo, función de la orientación. Para el escenario de existencia de lamas horizontales practicables, se ha considerado lamas de anchura de 0,2m y distancia entre ellas idéntica y de una longitud equivalente a la anchura del hueco sobre el que actúan. Sobre esta definición, se calcula el factor solar modificado en base a la metodología descrita en el Documento Básico HE del CTE [CTE, 2007]. Es

importante remarcar, igualmente, la selección, como caso extremo, de la colocación de las lamas en el exterior de la zona. Ello puede comportar variaciones significativas para con un caso en que las mismas se sitúen al interior, por lo que es necesario tenerlo en consideración en la lectura de resultados.

A continuación, y como una de las 4 principales variables del análisis, se definen las orientaciones en que simulan los distintos casos. En concreto, se trabaja con las seis orientaciones definidas en el CTE versión 2007.

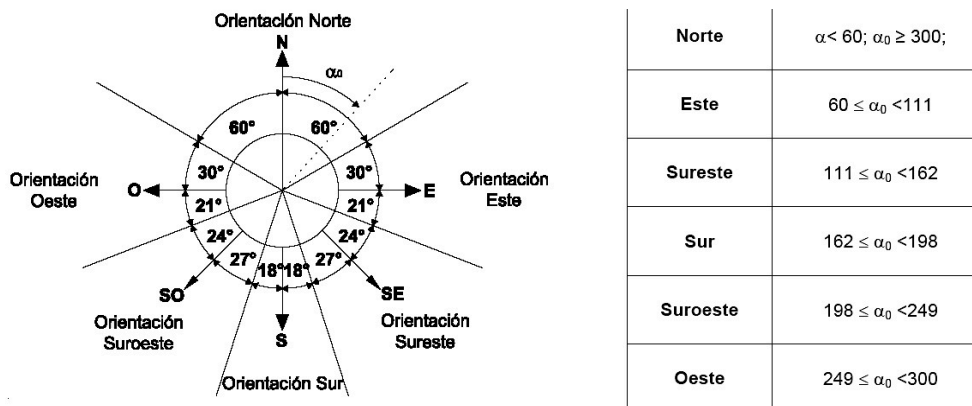


Figura 27. Definición de las orientaciones normativas hasta 2013. Fuente: CTE, 2007

Tal como se ha mencionado, en 2013 aparece una revisión del CTE por el que, el número de orientaciones pasa de las 6 vigentes hasta el momento, a 8 (dividiendo los 120° de la orientación Norte, en tres orientaciones equidistantes, N, NE y NW). Ello no afecta a las condiciones prescriptivas de cerramientos, ni opacos, ni transparentes, por lo que este cambio no repercute en variaciones del análisis.

Finalmente se definen el resto de parámetros a considerar en el análisis. Estos, sean fijos (como los cerramientos interiores) o variables en el tiempo (como los perfiles de ocupación), son unívocos en el análisis. Esto es, no existen distintas posibilidades sino tan solo la que se define a continuación. De esta forma:

- ✓ Cerramientos internos. Se definen los cerramientos internos de forma genérica en función de sus propiedades físicas, y no como una solución concreta, en base a los valores limitantes del CTE. De esta forma se definen divisorias (cerramientos verticales limitantes para con otros espacios o zonas adyacentes) como elementos macizos de obra, con una transmitancia térmica equivalente (U) de 2,55W/(m2K), mientras que para los forjados (cerramientos horizontales limitantes para con otros espacios o zonas adyacentes) se definen estructuras macizas de hormigón con una transmitancia térmica de 2,5 W/(m2K).

- ✓ Perfiles de ocupación. Entendidos como los perfiles temporales por los que se regula tanto la ocupación, como el resto de elementos que aporten cargas internas al edificio (equipamientos e iluminación), y los regímenes de climatización y ventilación. Se definen estas condiciones para el presente análisis referenciándose al perfil de edificios terciarios de elevada intensidad de 12h definido en el CTE [CTE, 2007-2013].
- ✓ Mención específica para los parámetros de iluminación; tal como se ha mencionado en el presente Capítulo, la actualización del CTE durante el 2013 ha establecido unos limitantes en las potencias máximas de iluminación instalada para alcanzar los valores normativos de luminancia de espacios. En el mismo no se hace mención específica a ningún valor prescriptivo para el caso de edificios de oficinas, aunque se considera un valor para uso administrativo ($12\text{W}/\text{m}^2$), y un valor para la categoría “otros” ($10\text{W}/\text{m}^2$), que se consideran referentes. De esta forma, y aunque no se nombren de forma fehaciente, parece razonable considerar que un valor de $12\text{W}/\text{m}^2$ será coherente para nuevos edificios de oficinas. En este caso, dicho valor difiere significativamente del valor utilizado en el análisis, de $20\text{W}/\text{m}^2$, para una iluminación de 500lux en plano de trabajo. Dicho valor se obtiene del capítulo HE3 del CTE 2007, a partir de un valor de eficiencia de la iluminación VEEI = 4 que se corresponde a un valor medio entre el valor aplicable a salas Técnicas y Administrativo general. En primera instancia, y para los casos del escenario base, no se considera el encendido y apagado en función de sensores de presencia ni de iluminación natural. Sí que en los casos de los escenarios de optimización, se valoran los modelos de regulación de potencia en base a sensores de iluminación natural. Aunque normativamente sí que se plantea la obligatoriedad de disponer de sensores de iluminación natural en regulación de potencia artificial, se ha preferido dividir el análisis en las fases de los escenarios descritos, por coherencia con el objetivo general del proyecto que afecta no solo a edificios de nueva promoción, sino también existentes que suelen carecer de este tipo de elementos domóticos. De esta forma, el análisis sí que considera la existencia de los mismos, pero lo hace en los escenarios de optimización. Todo ello se deberá tener en consideración en la lectura de los resultados, cuando esta se haga en valor absoluto puesto que para los valores relativos, o comparativas entre escenarios, esto no distorsionará las tendencias y conclusiones establecidas. Igualmente remarcar que, en el caso de la ventilación, no

se considera la ventilación natural nocturna, por entender que esta no es habitual en edificios de este uso.

- ✓ Tasas de infiltración. Se considera infiltración como la circulación de aire incontrolada entre espacios condicionados y el exterior u otros espacios no condicionados, como bajantes o similares. A nivel normativo del estado español, no existe una limitación específica de la misma, ni se requiere ningún tipo de prueba de estanqueidad en la construcción de los edificios. Esto es, aunque la normativa exige una estanqueidad para las soluciones de mercado aplicadas a huecos (ventanas), no se exigen niveles de estanqueidad a nivel de piel del edificio, o del edificio entero. Por otra parte, y aunque existen referencias de la importancia de la infiltración en la variación de las demandas y potencias térmicas y en función de las condiciones climáticas [Egan, 2011; VanBronkhorst, Persily, y Emmerich, 1995], esta resulta muy variable en función de la calidad constructiva y de la ejecución en obra. De esta forma, y para considerar de forma fehaciente la misma, sería necesario realizar test de infiltración caso a caso o disponer de referencias confirmadas para las latitudes analizadas, ambos fuera de lugar en el marco de la presente Tesis. Sin embargo, y evitando caer en una valoración constante de la infiltración, se aplica un modelo de fiabilidad intermedio en que, a través de la selección de la tipología constructiva, se asigna un tipo de permeabilidad que valora para cada instante de tiempo la infiltración existente, en función de los diferenciales de temperatura interior y exterior, y de las condiciones de los regímenes de viento [ASHRAE, 2013a]. En cualquier caso, este modelo no considera la infiltración para con zonas interiores de los edificios, hecho que solo será valorable cuando estas sean no condicionadas, que no es el caso de las zonas adyacentes supuestas en el modelo.
- ✓ Sistemas de climatización. Entendiendo que el análisis prevé focalizar sobre soluciones de diseño arquitectónico y constructivo y en la gestión de elementos de usuario, el sistema de climatización se define como un elemento de paso entre las demandas y los consumos. En este sentido se ha definido una única casuística de sistema de climatización, hecho que puede conllevar cierta subjetividad en los valores absolutos resultantes del análisis, aunque en menor impacto en los datos comparativos entre casos. Como sistema de referencia se ha utilizado una bomba de calor eléctrica, con un sistema de difusión por aire mediante fan-coils. Este se ha tratado como un parámetro estático desacoplado de las simulaciones térmicas del

edificio. De esta forma, es necesario definir un rendimiento global de la instalación de forma simplificada. Éste dependerá del rendimiento de la propia máquina (COP o EER), o la capacidad de esta de transformar la electricidad en energía térmica útil, del rendimiento de distribución a través del propio edificio, y del rendimiento de regulación del sistema global, según una ecuación como la que sigue:

$$\eta = \eta_g \cdot \eta_t \cdot \eta_r$$

Ecuación 1. Rendimiento estacional del sistema [PMEB, 2001].

En donde,

| | |
|----------|-----------------------------------|
| η_g | es el rendimiento de generación |
| η_t | es el rendimiento de distribución |
| η_r | es el rendimiento de regulación |

Para el caso de los rendimientos de distribución y regulación, se trabaja con una hipótesis de 0,95 entendiendo que, este es un valor muy dependiente de la instalación de cada edificio y, por tanto, poco estandarizable, y que, por otra parte, no existen referencias de que las variaciones entre casos sean muy representativas. Sin embargo, para el rendimiento de generación existe una distribución amplia de valores, no tanto entre distintos modelos de mercado, sino entre el denominado rendimiento nominal y el estacional. Así como el primero se trata de un valor teórico bajo unas condiciones de máxima eficiencia, el segundo da cuenta del rendimiento medio del sistema a lo largo de las distintas condiciones en que este puede operar. En este sentido, los fabricantes no proporcionan información de este tipo, dando únicamente el rendimiento nominal. Este problema se ha analizado en los últimos años por varios equipos de investigación y bajo distintas metodologías de trabajo. Para el análisis presente se utilizan los datos del Climate Impacts on Heating Seasonal Performance Factor (HSPF en sus siglas en inglés) and Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER en sus siglas en inglés).

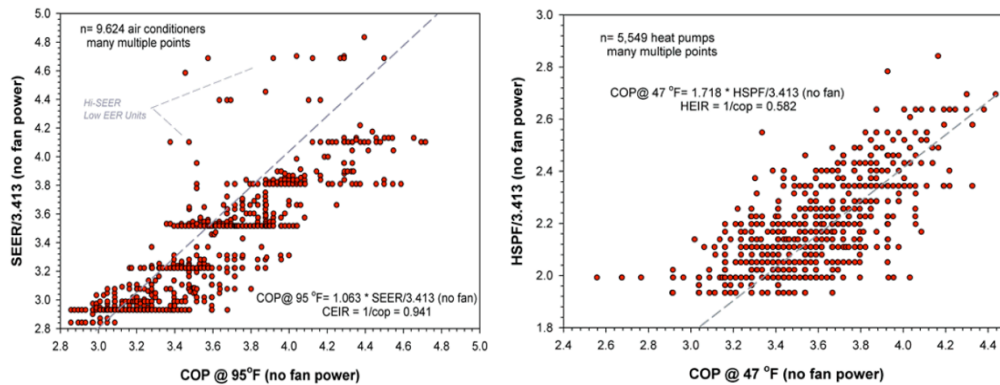


Figura 28. Índices de rendimiento estacional en generación de frío (SEER) y de calor (HSPF). Fuente: [Fairey, Parker, Wilcox, y Lombardi, 2004].

Aunque el estudio está realizado para localizaciones de Estados Unidos, estas incluyen latitudes con condiciones climáticas equivalentes a las del clima Mediterráneo. De esta forma, se define una máquina con unos rendimientos nominales de 2,6 para calor, y de 3 para frío sensible y latente, que se consideran valores de soluciones de mercado actual. Con estos valores, y a través del mencionado análisis, se llega a rendimientos estacionales de 1,76 para calor, y 2,31 para frío sensible y latente. Finalmente, y aplicando la ecuación de rendimientos y con los valores definidos, se llega a unos valores globales de la instalación de clima de 1,58 para calor, y 2,08 para frío sensible y latente.

- ✓ Clima. El comportamiento energético de los distintos casos analizados dependerá, en gran medida, de las condiciones climáticas en que se lleven a cabo las simulaciones. En este sentido, y considerando la ciudad de Barcelona como foco del análisis, se ha simulado los distintos casos mediante un año tipo sintético generado por la herramienta Meteonorm a partir de los datos de los últimos 30 años de la estación meteorológica de la Universidad de Barcelona, en la calle Diagonal de la misma ciudad.
- ✓ Paso de tiempo de las simulaciones. En relación al intervalo de tiempo que se utiliza para calcular cada vez todas las ecuaciones que definen al modelo. Típicamente éste intervalo, en las simulaciones térmicas, es de 1 hora, exceptuando los casos de fachadas dobles en los que el paso de tiempo es de 15 minutos. En estos casos se reduce el paso de tiempo para poder considerar de forma más fiable los efectos de la ventilación y recirculación del aire. Este elemento resulta muy sensible, sobre todo cuando se utilizan modelos simplificados de doble piel del funcionamiento de las fachadas, esto es, sin utilizar herramientas de dinámica de fluidos computacional

(CFD en sus siglas en inglés) que, si bien permitirían un análisis en detalle, solo ofrecen valores para un determinado instante de tiempo (datos estacionarios, y no dinámicos), requieren de muchos recursos de persona y máquina, y serían inviables en un análisis de multitud de casuísticas como el que aquí se plantea. De esta forma, se ha llevado a cabo un análisis con distintos pasos de tiempo para comprobar la convergencia de resultados; en el mismo, se observa que para pasos de tiempo inferiores a los 15 minutos, los resultados no sufren variaciones, pero si el tiempo de simulación. Igualmente, y para el caso de las simulaciones lumínicas, el paso de tiempo es de 10 minutos de forma que es posible capturar con precisión la evolución de la posición solar y, por tanto, de la radiación incidente en fachadas. En los casos en que se acopla los resultados de las simulaciones lumínicas con las simulaciones térmicas, se integran los valores para hacer coincidentes los pasos de tiempo.

En base a todo lo anterior, quedan establecidos los casos que componen el denominado escenario base del análisis, que para los parámetros variables se resume en la siguiente tabla resumen.

Tabla 6. Parámetros variables y soluciones de análisis. Fuente: elaboración propia

| Parámetro | Nomenclatura | Solución |
|------------------|---------------------|---|
| Fachada | F00 | Fachada ciega de referencia |
| | F01 | Fachada tipo ventana |
| | F02 | Fachada tipo continua |
| | F03 | Fachada con cámara no ventilada |
| | F04 | Fachada con cámara ventilada |
| | F05 | Fachada tipo optimización lumínica |
| | F06 | Fachada con cámara ventilada y aprovechamiento en climatización |
| Huecos | Vc | Vidrio doble convencional |
| | Vbe | Vidrio con tratamiento bajo emisivo |
| | Vr | Vidrio con baja reflectividad |
| | VR | Vidrio con elevada reflectividad |
| | Vtim | Vidrio con solución TIM incorporada parcialmente |
| | Vag | Vidrio con cámara de Argón |
| Sombras | Surb | Sombras por trama urbana |
| | Spol | Sin sombras en entorno polígono |
| | Sf | Sombras de elementos fijos |
| | Sm | Sombras de elementos móviles |

| Parámetro | Nomenclatura | Solución |
|-------------|--------------|--------------------------------------|
| | Sf+m | Sombras de elementos fijos y móviles |
| Orientación | N | Norte |
| | E | Este |
| | SE | Sur este |
| | S | Sur |
| | SO | Sur Oeste |
| | O | Oeste |

CAPÍTULO 3.2. FASE 2 DE DETERMINACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE “ESCENARIOS BASE”

En esta segunda fase se trabaja bajo el objetivo de resolver los comportamientos energéticos, económicos y de confort que caracterizan cada uno de los casos del escenario base planteado. Parte de los desarrollos de la misma se utilizan posteriormente en la Fase 3 y, los resultados de la misma, además de tener entidad por si mismos, representan la referencia de los análisis finales.

3.2.1 F.2.1. DISEÑO DE LOS ESCENARIOS BASE DE ANÁLISIS

El objetivo último de esta tarea es la preparación de las simulaciones y el post proceso de los casos definidos en el escenario base. Para ello es necesario validar las herramientas utilizadas, definir los modelos matemáticos TRNSYS y DaySim representativos de los distintos casos planteados, y determinar los parámetros de post proceso que deben permitir, en última instancia, determinar las variables de análisis.

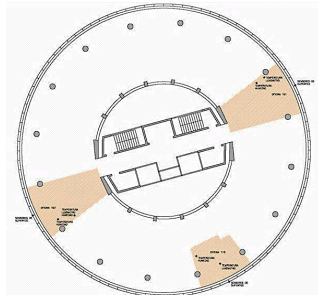
En un primer paso, se determina la fiabilidad de las hipótesis de trabajo en la determinación de resultados coincidentes con casos reales. De esta forma, se trata no tanto de validar las herramientas en si mismas que, como se ha comentado ya, se ha comprobado en estudios independientes [Judcoff y Neymark, 2001], sino de comprobar si las distintas hipótesis de detalle establecidas (paso de tiempo de las simulaciones, condiciones de circulación de aire por convección en las dobles pieles, y efectos de las infiltraciones) permiten obtener resultados del mismo orden de magnitud que los de los casos reales. En este sentido remarcar nuevamente, como se mencionó en el capítulo precedente, que no se trata de una calibración exhaustiva de las herramientas, que solo tendría sentido si se

pretendiera simular únicamente los casos monitorizados, y cuyo alcance resultaría totalmente distinto al de la validación aquí planteada.

Para ello, y al no existir información original a este nivel, se diseñan en formato CAD los distintos casos de análisis reales para una planta tipo. En el Anexo I se puede encontrar el detalle de los mismos, que también se adjuntan en formato informático en la entrega digital de la Tesis.

En base a ello, se modelan los casos con las herramientas de simulación TRNSYS y DaySim reproduciendo, para estos casos reales, no solo las condiciones arquitectónicas y constructivas características, sino las de operación y gestión observadas (perfiles de ocupación, iluminación, condiciones de consigna y casuísticas de los elementos de sombra practicables), de forma que sea factible la comparación entre resultados de simulación y datos de monitorización.

Plano Planta del edificio Nexus I



Plano Planta del edificio Nexus II



Plano Planta del edificio BP



Plano Planta del edificio ZEPI



Plano Planta del edificio Centre el Pla



Plano Planta del edificio Aduanas

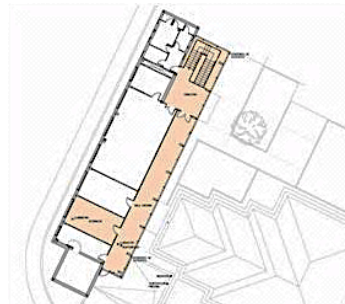


Figura 29. Imágenes de los levantamientos realizados para los edificios monitorizados. Fuente: ALIA

En base a ello se realiza una doble comparación. Por una parte se valoran los resultados dinámicos de las simulaciones, obtenidos mediante la simulación con el fichero de clima obtenido en las semanas de captura de datos, con los datos de la monitorización. Los mismos se evalúan tanto en los períodos de ocupación como, sobre todo, en los de libre evolución, esto es, sin condiciones de consigna (fin de semana). Por otra parte, también se realiza la comparación entre resultados anuales de las simulaciones dinámicas, ahora con el fichero de clima sintético, y los consumos energéticos disponibles solo para alguno de los edificios. En este último caso se considera, por una parte, que solo se dispone de consumos desgregados por usos en uno de los edificios, y que, por otra parte, debe realizarse una extrapolación de los resultados de las simulaciones, a nivel de zona, al global del edificio.

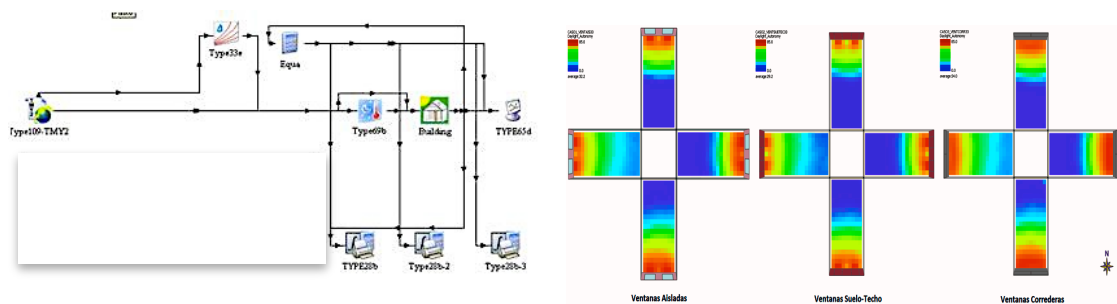


Figura 30. Ejemplo de esquema de modelización TRNSYS (izquierda) y de salidas DaySim (derecha) en el ámbito del trabajo. Fuente: AIGUASOL.

En base a ello se establece, en primera instancia, que las hipótesis de simulación relativas al paso de tiempo, al modelo de infiltración, y a los modelos de ventilación en doble piel, resultan correctos en orden de magnitud. Igualmente la comprobación permite delimitar la validez de los valores absolutos de las simulaciones, bajo las condiciones de simulación, a un orden de error inferior al 15% anual. En segunda instancia, la determinación fehaciente de problemáticas reales, y en un proceso de doble sentido, también permite la determinación y corroboración de los casos de análisis descritos en la Fase 1.2. de definición de escenarios.

Una vez validadas las herramientas, se procede a la modelización matemática de todos y cada uno de los ficheros TRNSYS y DaySim bajo las consideraciones previamente descritas. En el caso de TRNSYS, se parametrizan algunas de las variables con la herramienta interna GenOpt. GenOpt es una herramienta que permite la optimización de un determinado problema de simulación TRNSYS, a partir de la variación de algunas de las variables que la definen. En este sentido, es posible utilizar la herramienta no como una

subrutina de optimización, sino como un generador de casos en función de la variación de parámetros característicos. De esta forma, no es necesario definir tantos ficheros TRNSYS como casos existentes, sino que se diseñan un parte de los mismos, y el resto se deriva de estos con GenOpt. Ello no significa que no se lleven a cabo todas las simulaciones, sino que parte de estas se lanzan en baterías.

En el caso de DaySim no se encontró, en el momento de llevar a cabo las simulaciones, una alternativa paralela a la descrita con TRNSYS y GenOpt. Por ello, las simulaciones lumínicas se deben realizar una a una para los casos descritos. Dicho esto, por una parte no es necesario simular los 1.080 casos puesto que el factor tipo de fachada no afecta a todas las simulaciones lumínicas, siempre que el resto de condiciones arquitectónicas y constructivas permanezcan invariables. De esta forma, los 1.080 casos quedan descritos en base a 720 casos de DaySim (asociando alguno de estos con varios de aquellos). De estas 720 posibilidades, varias de ellas comparten el mismo fichero de entrada geométrica, variando solo parámetros internos como el tipo de vidrio o la orientación. Ello permite reducir el número de ficheros base DaySim a 20 modelos.

De todo lo anterior, quedan fijados todas las simulaciones a realizar para obtener los resultados de las mismas para los 1.260 casos del escenario base. Sin embargo, es necesario definir, aún, las variables de costes económicos a repercutir en los resultados de las simulaciones y el post proceso de consumos energéticos.

El cálculo económico de los distintos escenarios trata de analizar y comparar la viabilidad y eficiencia económica de las distintas soluciones. En este sentido, el análisis que se aborda tiene una doble finalidad,

- I. Por un lado el análisis pretende cuantificar económicamente las conclusiones obtenidas a nivel energético. Dicha cuantificación resulta relevante en el marco del análisis porque, en primera instancia, permite trabajar con unidades (€/m^2) perfectamente entendibles para todos los actores que participan en el ciclo de vida de los edificios (desde inversores a usuarios finales, pasando por proyectistas).
- II. Por otro lado, el hecho que el análisis incorpore los costes de inversión y mantenimiento de las distintas soluciones de edificios planteados, añade una nueva visión a los resultados. Efectivamente, la relación entre los costes de operación (la facturación energética) de los edificios y los de inversión y mantenimiento, puede ser muy variable en función de cada caso analizado. De esta manera, esta valoración

económica introduce una perspectiva distinta en la lectura de resultados que, para el resto de variables de análisis, solo valora la operación.

En este contexto, es necesario determinar, en primera instancia, el indicador que pueda valorar el vector económico en el contexto establecido. Esto es, cuantificar económicamente los distintos casos planteados considerando las variables de análisis, y la orientación del estudio. Dicho indicador debe reflejar las variables que se quieren considerar y las que no tienen cabida en el presente análisis. Entre las segundas, se descarta considerar los costes asociados a la deconstrucción y reciclaje de materiales, por considerarse este un ejercicio muy subjetivo dada la falta de referencias en el entorno geográfico del estudio. Igualmente, tampoco se consideran los costes asociados a las emisiones (en el mercado de compra venta de las mismas) puesto que se considera que estos no aportan una información a nivel del usuario final, sino más a nivel macroeconómico, fuera del ámbito del presente análisis.

De esta forma, y aunque se valora trabajar con el “análisis de costes del ciclo de vida” (LCCA en sus siglas en inglés [ISO, 2008]), y con el “coste de energía nivelado” (LEC, en sus siglas en inglés [ISE, 2008]), ninguno de ambos se ajusta al marco del análisis. El primero considera costes de deconstrucción y reciclaje que no se valoran en el presente análisis. El segundo, muy utilizado en el sector energético, pierde sentido cuanto el sistema a considerar, consume energía en vez de producirla.

De esta forma se opta por “redefinir” el LCCA en un indicador que, utilizando su misma formulación, no considere los costes de deconstrucción y reciclaje. El nuevo indicador, denominado “Coste de vida útil del edificio anualizado” ($CVU_{anualizado}$), obedece así a la siguiente ecuación,

$$CVU_{anualizado} = \frac{[C_{INV} + C_M \left[\frac{1}{(d-i) \left(1 - \left(\frac{1+i}{1+d}\right)^N\right)} \right] + C_o \left[\frac{1}{(d-ipe) \left(\frac{1+ipe}{1+d}\right)^N} \right]}{N}$$

Ecuación 2. Ecuación de definición del Coste de vida útil del edificio anualizado. Fuente: elaboración propia

En donde,

- ✓ C_{INV} son los costes de inversión, desglosados a continuación.
- ✓ C_M son los costes de mantenimiento del edificio, desglosados a continuación.

- ✓ C_0 son los costes de operación, entendidos como la factura energética considerando el factor de consumo, pero no el de potencia. Para el análisis se utiliza un coste de energía de 0,1156€/kWh, considerado bajo pero acorde a los precios obtenidos por grandes consumidores.
- ✓ d es la tasa de actividad, establecida en el 6%. Aunque este valor puede ser muy variable, la metodología planteada por la CE para el desarrollo de los análisis de *Cost Optimal* [CE, 2013], recomienda valores de entre el 3 y el 7%.
- ✓ i es el IPC estimado, valorado en el 3% que, aunque lejos de los valores actuales, se considera razonable en el promedio temporal.
- ✓ i_p es el índice de evolución del precio de la energía, valorado con el 4,5% en base a escenarios establecidos por la Agencia Internacional de la Energía [IEA, 2013].
- ✓ N son los años de vida útil del edificio, entendido como los años en que este es operativo sin la necesidad de llevar a cabo una reforma integral, valorado en 30 años. Existen pocas referencias al respecto de la valoración de este parámetro. La CE, en su documento de recomendaciones de aplicación del *Cost Optimal* [CE, 2013], establece, para edificios de terciario, una vida útil de 20 años, aunque considera que existen elementos que deben ser valorados más allá. En el presente análisis se trabaja con un valor superior que se considera más representativo de la realidad local.

Mención especial merecen las partidas de inversión y mantenimiento por su alcance y relevancia en el análisis.

Primeramente, y en relación a los costes de inversión, cabe remarcar que los mismos no consideran partidas relativas ni a sistemas de generación, ni a equipamientos. Se entiende que estas partidas serían muy variables en función de las casuísticas representadas, y dado que el análisis solo se realiza para un único caso de sistema y de equipamientos, en el mismo solo aportarían un valor residual constante

En la definición de los costes de inversión, se procede de forma análoga a la generación de un presupuesto detallado para cada una de las partidas a tener en cuenta para la construcción de cada una de las soluciones. El presupuesto detallado incluye todas aquellas partidas que forman parte de la fachada: estructura del cerramiento, carpinterías, acristalamientos, los aislamientos, acabados interiores y exteriores, pasarelas de mantenimiento en caso de fachadas con cámara de aire, elementos de sombreado y demás elementos necesarios para la completa ejecución de cada solución. Los costes unitarios de inversión, analizados y sintetizados por el equipo de ALIA, se han obtenido a partir de las

referencias del programa CYPE [CYPE, 2012] y de la base de precios de PREOC [PREOC, 2012].

En base a una metodología de caracterización de cada zona de análisis por fachada, descrita en detalle el Anexo IV del presente documento, se evalúan cada uno de los elementos que componen los cerramientos y se repercuten por zona de análisis y m² de superficie útil de las mismas. De esta forma, se genera un resumen parcial de la casuística de cada fachada con los datos relativos al precio de ejecución de materiales (PEM), así como al precio de ejecución en la construcción (PEC), cuya relación entre ambos se establece bajo la hipótesis que la suma de los costes indirectos y del beneficio industrial suponen un 20%.

| | | TIPO DE VIDRIO | | | | | |
|--|---|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------|----------|
| | | CLARO | BAJA EMISIVIDAD | REFLECT. LIGERO | REFLECT. FUERTE | TIM | ARGÓN |
| TIPO 0: FACHADA CONVENCIONAL | Importe base (€/m ² útil) | 99,17 € | 100,62 € | 108,82 € | 106,11 € | 102,31 € | 102,63 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 111,09 € | 112,55 € | 120,75 € | 118,04 € | 114,24 € | 114,56 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 123,78 € | 125,23 € | 133,43 € | 130,72 € | 126,93 € | 127,25 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 135,71 € | 137,16 € | 145,36 € | 142,65 € | 138,86 € | 139,17 € |
| TIPO 1: VENTANA | Importe base (€/m ² útil) | 190,89 € | 200,38 € | 240,48 € | 227,22 € | 208,67 € | 210,21 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 277,49 € | 286,98 € | 327,08 € | 313,82 € | 295,27 € | 296,81 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 315,53 € | 325,02 € | 365,11 € | 351,86 € | 333,31 € | 334,85 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 402,13 € | 411,62 € | 451,71 € | 438,46 € | 419,91 € | 421,45 € |
| TIPO 2: FACHADA CONTINUA | Importe base (€/m ² útil) | 173,40 € | 185,85 € | 238,44 € | 221,04 € | 196,72 € | 198,75 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 260,00 € | 272,45 € | 325,04 € | 307,64 € | 283,32 € | 285,35 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 318,82 € | 331,27 € | 383,85 € | 366,45 € | 342,13 € | 344,17 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 405,42 € | 417,87 € | 470,45 € | 453,05 € | 428,73 € | 430,77 € |
| TIPO 3: CÁMARA NO VENTILADA | Importe base (€/m ² útil) | 363,61 € | 374,62 € | 421,15 € | 405,76 € | 384,23 € | 386,03 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 458,22 € | 469,23 € | 515,75 € | 500,36 € | 478,84 € | 480,64 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 522,46 € | 533,48 € | 580,00 € | 564,61 € | 543,08 € | 544,89 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 617,07 € | 628,08 € | 674,60 € | 659,22 € | 637,69 € | 639,49 € |
| TIPO 4: CÁMARA VENTILADA SOLUCIÓN TRADICIONAL | Importe base (€/m ² útil) | 390,59 € | 404,18 € | 461,63 € | 442,62 € | 416,05 € | 418,28 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 485,19 € | 498,79 € | 556,24 € | 537,23 € | 510,66 € | 512,88 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 549,44 € | 563,03 € | 620,49 € | 601,48 € | 574,91 € | 577,13 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 644,05 € | 657,64 € | 715,09 € | 696,08 € | 669,51 € | 671,73 € |
| TIPO 4: CÁMARA VENTILADA SOLUCIÓN SISTEMA VEA | Importe base (€/m ² útil) | 651,93 € | 665,53 € | 722,98 € | 703,97 € | 677,40 € | 679,62 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 746,54 € | 760,13 € | 817,58 € | 798,57 € | 772,00 € | 774,23 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 810,79 € | 824,38 € | 881,83 € | 862,82 € | 836,25 € | 838,48 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 905,39 € | 918,98 € | 976,44 € | 957,43 € | 930,86 € | 933,08 € |
| TIPO 5: OPTIMIZACIÓN LUMINOSA | Importe base (€/m ² útil) | 203,08 € | 215,52 € | 268,12 € | 250,72 € | 226,39 € | 228,43 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 289,68 € | 302,12 € | 354,72 € | 337,32 € | 312,99 € | 315,03 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 300,02 € | 312,46 € | 365,07 € | 347,67 € | 323,33 € | 325,37 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 422,36 € | 435,95 € | 493,42 € | 474,41 € | 447,83 € | 450,06 € |
| TIPO 6: CÁMARA VENTILADA CON APROVECHAMIENTO DE AIRE | Importe base (€/m ² útil) | 455,44 € | 468,28 € | 522,56 € | 504,61 € | 479,49 € | 481,60 € |
| | Importe con sombra fija (€/m ² útil) | 550,04 € | 562,89 € | 617,16 € | 599,21 € | 574,10 € | 576,20 € |
| | Importe con sombra móvil (€/m ² útil) | 591,60 € | 604,45 € | 658,72 € | 640,77 € | 615,66 € | 617,76 € |
| | Importe con sombra fija+móvil (€/m ² útil) | 686,21 € | 699,05 € | 753,33 € | 735,38 € | 710,26 € | 712,37 € |

Tabla 7. Resumen de los costes de inversión según tipología de fachada, elemento de sombra y tipo de hueco.
Fuente: ALIA

De los resultados obtenidos, cabe destacar que los costes de inversión resultan claramente inferiores en los distintos casos de fachadas ciegas convencionales (del orden de entre 100 y 145€/m² de superficie útil en planta), que para el resto de casos correspondientes a las fachadas acristaladas (entre 173 y 976€/m² de superficie útil en planta). Ello se considera en el capítulo de conclusiones como parte de la evaluación de los resultados obtenidos del comportamiento de los distintos casos.

Igualmente, el análisis de costes también valora los costes de mantenimiento. Aunque estos sean relativamente menores a los de inversión y los de operación, se cree interesante su valoración por su dependencia para con las distintas soluciones analizadas de fachadas y elementos de sombra. El cálculo de los costes de mantenimiento se desarrolló en base a las descripciones de las soluciones constructivas de los distintos escenarios, y al correspondiente apartado de la herramienta de cálculo de costes del ITeC [ITeC, 2012]. En el Anexo IV del presente documento se explica el desglose de costes en detalle.

3.2.2 F.2.2. SIMULACIÓN Y POST PROCESO DE LOS ESCENARIOS BASE

De todo lo anterior, se procede a la simulación y post proceso de los casos de análisis que componen una parrilla de 1.260 casos de la combinación de las distintas casuísticas de fachadas (6+1), huecos (6), elementos de sombra (5) y orientaciones (6).

Estas simulaciones se realizan tanto para los edificios funcionando según las condiciones de consigna establecidas anteriormente, como para condiciones de libre evolución, esto es, sin sistemas de iluminación ni climatización. Aunque ello duplica el número de las simulaciones, se considera necesario para poder determinar los índices de confort que, al ser dependientes de las temperaturas o luminosidades entre otras, resultarían en valores óptimos en todos los casos en que existieran sistemas de condicionamiento (tanto térmicos, como lumínicos).

Para este análisis de libre evolución, y así como en el caso de las condiciones de confort térmico quedan definidas con los mencionados parámetros PMV y PPD, es necesario definir como se valora el confort lumínico. Partiendo de la premisa que este análisis se realiza sin sistemas de iluminación artificial, el confort lumínico se determina a partir de la valoración de la falta de iluminación natural sobre el plano de trabajo (considerado típicamente a 80cms de altura sobre el suelo), o el exceso de la misma provocando deslumbramientos. Igualmente, y así como es factible considerar que la temperatura resulta homogénea en el plano de toda la zona de análisis, la iluminación natural será claramente distinta en función de la posición y profundidad del punto análisis para con la fachada. Por ello, se plantea el análisis en una malla de distintos puntos, definida a partir de las recomendaciones CTE, en cuanto a profundidad, pero duplicando los valores, en cuanto a amplitud de la zona.

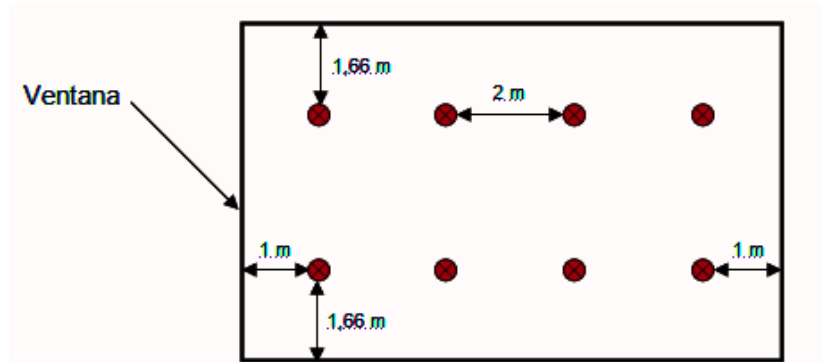


Figura 31. Diagrama de puntos de análisis de la iluminación natural. Fuente: Elaboración propia

Finalmente se definen las variables resultantes de análisis; aunque el marco del problema establece claramente los objetivos, la ingente cantidad de información y la necesidad de clarificar los resultados y las conclusiones que de estos se obtienen, recomienda definir claramente cada una de estas variables resultantes. De esta forma:

- ✓ Variables relativas a las demandas térmicas. Dichas variables se analizan en relación a la superficie de la zona tipo y hacen referencia a las demandas de calefacción, y demandas sensibles y latentes de refrigeración [kWh/m^2]. Dado que el número de registros de cada una de estas variables para cada uno de los 1.260 casos del escenario base es de, al menos, 8.760 valores horarios, estos se integran para el global del año [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{año}$]. Ello permite trabajar con análisis comparativos, aunque a costa de perder el foco en la estacionalidad de las casuísticas. Esto es, la integración de los valores horarios, si bien deriva en un valor unívoco anual, no permite visualizar los resultados mensuales, o incluso diarios para cada uno de los casos. Aunque estos valores se obtienen de las simulaciones, todo el análisis de resultados y las conclusiones se lleva a cabo solo para valores anuales, por coherencia del propio estudio.
- ✓ Variables relativas a las demandas lumínicas. Dichas variables se analizan en relación a la superficie de la zona tipo y hacen referencia a las demandas lumínicas [kWh/m^2]. Dado que el número de registros de cada una de estas variables para cada uno de los 1.080 casos del escenario base es de, al menos, 61.320 valores diez minutales, y análogamente al caso anterior, estos se integran para el global del año [$\text{kWh}/\text{m}^2/\text{año}$]. Igual que para el análisis de las variables térmicas, la integración de valores actúa a favor de la claridad de los resultados y de su análisis comparativo, a costa de perder su detalle en función del día o el mes del año.

- ✓ Variables relativas al consumo energético. En base a los datos de demandas térmicas y lumínicas, y entendiendo que el análisis de estas ofrecen una valoración del comportamiento energético del edificio, se cree conveniente analizar el consumo energético de cada uno de los casos del escenario base según los factores de rendimiento establecidos.
- ✓ Variables relativas al consumo económico. Entendidas bajo la definición realizada en la que se computan tanto los costes relacionados con los consumos energéticos, como los de inversión y mantenimiento de las soluciones que conforman los distintos escenarios, bajo unas hipótesis establecidas de precio de la energía, tasa de descuento o evolución de los precios.
- ✓ Variables relativas al confort térmico de los usuarios. Como se ha establecido, estas son el Voto medio previsto (PMV) y la Proporción de gente insatisfecha (PPD). Sin embargo, como ocurre con los casos precedentes, estos indicadores son variables en el tiempo y, por tanto, difícilmente evaluables como tales en el contexto del análisis. En este caso, no es factible integrar los valores como tales, por la propia definición de los mismos, así que se plantea la realización de histogramas que consideran el número de horas anuales en que los valores del PMV están por debajo de -1 (disconfort por sensación de frío) en un caso, o por encima de +1 (disconfort por sensación de calor) en el otro. Dado que el análisis de estas variables se realiza considerando el funcionamiento en libre operación, las mismas deben interpretarse como el comportamiento del edificio para con su entorno y su uso, independientemente de la existencia de sistemas de clima.
- ✓ Variables relativas al confort lumínico de los usuarios. Más allá de los puntos de análisis establecidos, este caso resulta análogo al de las variables de confort térmico. Sin embargo, se añade una complejidad adicional debido a la necesidad de valorar dos factores (la falta de iluminación y el deslumbramiento) que típicamente se analizan por separado pero que se busca integrar para facilitar la lectura de resultados. De esta forma, para evaluar la falta de iluminación natural es posible trabajar con la denominada “Autonomía de iluminación natural con” (DA_{con} en sus siglas en inglés). Este indicador calcula la suma de horas anuales de uso donde la iluminación natural es superior a la requerida, y añade un porcentaje calculado como la relación entre la iluminación natural y la requerida para aquellas horas en que la primera resulta insuficiente. Esto es, valora de forma indirecta el ahorro en

iluminación artificial gracias a la iluminación natural. Para el caso de los deslumbramientos, se trabaja con el indicador de “Autonomía de iluminación natural máxima” (DA_{max} en sus siglas en inglés), que integra las horas en que su supera en 10 veces la iluminación requerida en plano de trabajo (500lux). Para integrar ambos valores en un único indicador, a modo y semejanza a lo que se hace en el caso térmico, permitiendo establecer las condiciones de consigna requeridas, se trabaja con un indicador propio según,

$$Conf_{LUM} = DA_{con} - DA_{max}$$

Ecuación 3. Definición del indicador de confort lumínico. Fuente: elaboración propia

En donde, el indicador muestra finalmente el número de horas en que existe una iluminación natural beneficiosa.

Finalmente, y más allá de escenarios concretos de análisis, se evalúa la necesidad de graficar, de una forma eficiente y clara, los resultados globales obtenidos. Así, para evaluaciones de todos los valores de un mismo escenario, se establece un código de colores que permita, de una manera muy visual, entender los resultados globales obtenidos. Así, se asignan a los distintos indicadores finales, distintos colores en función del rango de valores que puedan adquirir.

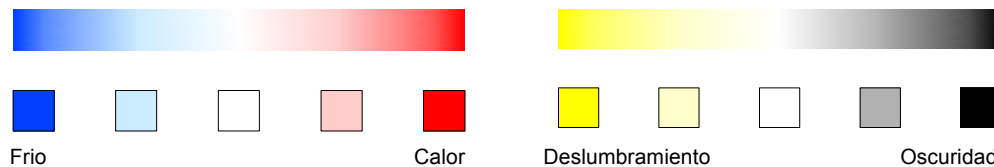


Figura 32. Ejemplo de código de colores aplicado. Fuente: ALIA

Dicho código de colores se utiliza para las visualizaciones del global de los casos de análisis. Sin embargo, y más allá de esta nomenclatura o código, se plantea establecer una graficación o tabulación específica que permita contemplar la visión general de una sola vez. Por ello, y después de realizar pruebas en distintos formatos, se plantea el uso de libros Excel en los que las filas representan casuísticas de análisis, y las columnas indicadores resultantes según orientaciones.

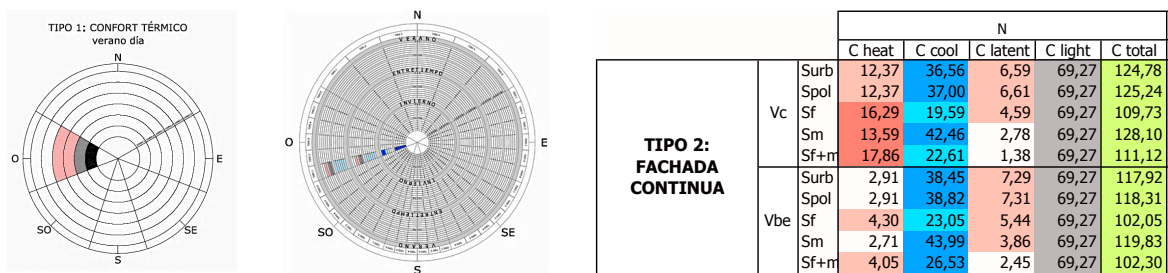


Figura 33. Pruebas de representación gráfica de indicadores (izquierda) y opción finalmente seleccionada (derecha). Fuente: ALIA y elaboración propia

En el capítulo de análisis de resultados se incide de forma detallada en la descripción de las representaciones gráficas y tabuladas de los resultados del análisis.

CAPITULO 3.3. FASE 3 DE ANÁLISIS DE LOS MODELOS DE GESTIÓN Y USO DE LOS EDIFICIOS

El objetivo de esta fase es analizar el efecto que, sobre el comportamiento (energético, económico y de condiciones de confort), tiene la gestión optimizada del uso del edificio, a través de usuarios concienciados o componentes domóticos de regulación de elementos de sobra y de potencia de iluminación. Existen otras variables de influencia del usuario que, si bien pueden tener una elevada influencia en el comportamiento de los edificios, se plantea que se dan cada vez menos para esta tipología de uso (caso de la abertura de ventanas), o se limitan en mayor o menor medida (caso de termóstatos). El desarrollo de esta fase se estructura en base a dos tareas de trabajo.

3.3.1. F.3.1. DISEÑO DE LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS

La definición de los denominados escenarios optimizados se realiza bajo la premisa que la operación que los usuarios hacen de los edificios, suele ser consecuencia de la respuesta de estos al entorno que los rodean. Sin embargo no se pretende tanto valorar el comportamiento habitual de los usuarios, como el potencial que la operación perfecta de los elementos de sombra pueda tener en la mejora del comportamiento del edificio. Por ello se analiza el efecto suponiendo la instalación de sistemas domóticos que operen con precisión. Además el análisis se realiza para distintos de los casos planteados para el escenario base, con el fin de determinar si las tendencias observadas en ese, se mantienen en este caso, y si existe distintos grados de optimización en función del caso de análisis.

De esta forma, se plantean los siguientes escenarios de optimización:

Tabla 8. Escenarios de optimización. Fuente: elaboración propia

| Escenario | Descripción |
|-------------------------------|--|
| Optimización lumínica | Optimización lumínica. En donde se supone [LEED, 2010] que los elementos de sombra móviles operan únicamente evitando deslumbramientos (luminancias 10 veces superiores a la exigida en plano de trabajo), y que la iluminación artificial fluctúa en potencia en función de la iluminación natural incidente para llegar siempre a un nivel lumínico indicado (500 lux). Ello se calcula mediante la instalación de una célula fotoeléctrica en el plano de trabajo a una distancia de 2 metros de fachada [CTE, 2007]. El resto de parámetros se mantiene bajo las mismas condiciones que las de los casos del escenario base. |
| Optimización térmica | Optimización térmica. En donde se considera que los elementos de sombra móviles, cuando existen, priorizan la reducción del sobrecalentamiento de los espacios, esto es, se operan en aras de reducir las demandas de refrigeración (considerando, a su vez, la correcta operación en los instantes del año en donde la radiación incidente se puede aprovechar para reducir las demandas de calefacción). Ello se calcula suponiendo que se corre el riesgo de sobrecalentamientos cuando la radiación directa normal exterior al edificio supera un rango de 120 – 140W/m ² [TRNSYS]. Como en el escenario anterior, el resto de parámetros, incluida la iluminación artificial, se mantiene igual que en los casos del escenario base. |
| Optimización lumínico-térmica | Optimización lumínico-térmica. Finalmente se define este tercer escenario como una combinación de los dos precedentes de manera que, en este, la iluminación artificial fluctúa en potencia para que exista siempre un nivel lumínico indicado (500 lux) aprovechando al máximo la iluminación natural (y bajo las mismas condiciones de sensores establecidas en el escenario 1), y que los elementos de sombra móviles, cuando existen, prioricen la reducción del sobrecalentamiento de espacios (al igual que en el escenario 2). Esto último implica, de forma inherente, que no se asegure la inexistencia de deslumbramientos puesto que los elementos de sombra no operan bajo esta premisa. |

Estos distintos escenarios comportan que las simulaciones TRNSYS y DaySim se acoplen para poder considerar los efectos descritos, considerando los potenciales y limitaciones de cada herramienta. Efectivamente, en los casos del escenario de optimización lumínica, la regulación de los elementos de sombra y la variación de potencia de iluminación artificial en base a la incidencia de radiación natural se analiza mediante la herramienta DaySim. De esta se extraen los perfiles de ambos elementos, que sirven para simular el comportamiento térmico de los edificios bajo estas premisas.

En los casos del escenario de optimización térmica, se realiza un procedimiento análogo pero en orden inverso, por el que se calculan los perfiles de operación de los elementos de sombra en TRNSYS, y estos se utilizan para la simulación DaySim. En el escenario de optimización lumínico-térmica, se trabaja de forma análoga utilizando perfiles de una y otra herramientas a la vez.

A pesar del interés de todos los casos definidos para el escenario base, y en aras de viabilizar los análisis previstos para los tres nuevos escenarios, se procede a una selección de casos representativos sobre los que aplicar los nuevos paradigmas. Para ello, se plantea la selección de casos de análisis bajo la premisa de máxima representatividad o valores extremos obtenidos en el escenario base. Según esto, se seleccionan los siguientes valores de los principales parámetros de definición de los casos de análisis,

Tabla 9. Parámetros considerados en los casos de análisis de los escenarios de optimización. Fuente: elaboración propia

| Parámetro | Casos de análisis | Descripción |
|------------------|-----------------------------------|--|
| Fachadas | F00, F01, F02, F03, F04, F05, F06 | En donde se considera prioritario analizar todas las fachadas definidas originalmente, puesto que se entiende que la selección de solo algunas de ellas para llevar a cabo los análisis, limita significativamente la amplitud de vistas de los resultados. |
| Huecos | Vc, Vbe, Vr | En el caso de tipologías de ventanas, y considerando los condicionantes de máxima amplitud de resultados y mínima coincidencia entre estos, se descarta inicialmente la solución con vidrios TIM. De los restantes tipos de vidrios, y en base a los resultantes del escenario base (en donde se muestra el predominio de los consumos de iluminación y frío), se considera que, por una parte, los efectos de los vidrios reflejantes ligeros con los reflejantes fuertes son agrupables y, por otra parte, los bajo emisivos con los de cámara de Argón. En base a estas agrupaciones y a los condicionantes de inversión, que suelen regular el tipo de soluciones existentes en edificios reales, se seleccionan las mencionadas soluciones. |
| Sombras | Spol, Sm, Sf+m | Los parámetros de sombreado forman parte de la definición de los escenarios de modelos de uso y gestión. Considerando este hecho, se valora el análisis de los tres casos descritos. |
| Orientaciones | N, S | Considerando delimitar a un máximo de dos orientaciones, se valora que estas dos son las que ofrecen una mayor diferencia en los resultados del escenario base. El resto de orientaciones, aún aportando información relevante, tienen valores resultantes, para el escenario base, generalmente entre las dos orientaciones seleccionadas. |

De esta forma, las distintas variaciones planteadas dibujan escenarios de 108 casos para cada una de las tres estrategias a valorar. Se considera, por lo anteriormente descrito, que esta drástica reducción de casos por escenario, no disminuye la posibilidad de obtener conclusiones de un alcance similar a las del escenario base.

3.3.2. F.3.2. SIMULACIÓN Y POST PROCESO DE LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS

De forma análoga al escenario base, se simulan y post procesan los distintos casos de los escenarios optimizados, utilizando la misma metodología de trabajo, parámetros e

hipótesis. Destacar, finalmente, la incorporación de análisis comparativos entre casos equivalentes de distintos escenarios. Estos se describen en detalle en el capítulo de resultados.

CAPÍTULO 4. RESULTADOS

De las distintas fases de trabajo descritas, se obtienen los resultados principales del análisis que se dividen en cuatro categorías;

- I. **Resultados de las monitorizaciones.** Conformados por los datos obtenidos de las monitorizaciones y encuestas realizadas en los edificios de referencia, así como por las valoraciones de las simulaciones de los modelos matemáticos que los describen.
 - II. **Resultados del escenario base.** En donde se muestran los resultados específicos (energéticos, económicos y de confort) de los 1.260 casos que conforman el análisis del escenario base, en función de las variaciones de fachadas (6+1), huecos (6), elementos de sombra (5), y orientaciones (6).
 - III. **Resultados de los escenarios optimizados.** Datos relativos a los resultados (energéticos, económicos y de confort) de los 108 casos que conforman cada uno de los 3 escenarios optimizados: optimización lumínica, optimización térmica, y optimización lumínico-térmica. Los 108 casos de cada uno de los 3 escenarios de optimización corresponden a la combinatoria de los casos más extremos del análisis del escenario base, definidos por la totalidad de las fachadas (6), los huecos más relevantes (3), la disposición de elementos de sombra coherentes con la definición de los escenarios (3), y las orientaciones más extremas (2).
 - IV. **Resultados comparados.** Que muestra la comparativa entre los resultados de los distintos escenarios analizados, con el fin de facilitar la obtención de conclusiones.
- A continuación se desarrolla en detalle el capítulo siguiendo la estructura presentada.

CAPÍTULO 4.1. RESULTADOS DE LAS MONITORIZACIONES

Fruto de la fase de trabajo F.1.1. de Monitorización de edificios existentes se obtienen, por una parte, los resultados de las encuestas a los usuarios y jefes de mantenimiento y, por otra parte, los datos de los sensores instalados. De ambos resultados se determina tanto la caracterización de la problemática inherente a los edificios, que debe confirmar la razón de ser de la presente Tesis, como la validación de las hipótesis de modelado a utilizar en los análisis de los escenarios teóricos (F.2.1.).

4.1.1 RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

En el proceso de determinación de la problemática inherente al comportamiento energético de los edificios analizados, las encuestas aportan, en primera instancia, una evaluación

cualitativa que pretende complementar la visión cuantitativa obtenida de los datos medidos o de los facilitados por la propiedad. Igualmente, y en el caso de los jefes de mantenimiento, se busca complementar o corroborar la información disponible descriptiva de los edificios y de su gestión.

De esta forma, se trata de una información adicional que permita confirmar la observación y análisis de datos característicos, y no de un fin en si mismo. Igualmente, en la definición de las mismas también se considera el requerimiento, por parte de las propiedades, de mínima injerencia en la rutina de los usuarios de los edificios. Todo ello determina la tipología de encuestas breves y focalizadas en sensaciones, en el caso de usuarios, y en hechos, en el caso de jefes de mantenimiento. De todo lo anterior, se lleva a cabo un número limitado de encuestas que, aunque se entiende que no son estadísticamente representativas, se considera que alcanzan los objetivos previstos.

El cumplimiento de las mismas se realiza durante las tres visitas que se llevan a cabo en los edificios analizados: una primera visita de confirmación de edificios objetivos, una segunda visita de colocación de sensores y una última visita de desinstalación de los mismos. En función de la disponibilidad de usuarios, se cumplimentan las encuestas en unas y/u otras visitas y, en el caso de los inquilinos, para aquellos que ocupan las zonas monitorizadas.

Se realizan un total de 28 encuestas a usuarios finales (11 en despachos y 17 en zonas diáfanas, detalle en Anexo II), diferenciadas entre géneros, así como 6 encuestas específicas a jefes de mantenimiento. De las primeras, se obtiene siguiente distribución:

Tabla 10. Distribución de encuestados por sexo y edificio

| Edificio | Hombres | Mujeres |
|-----------------|----------------|----------------|
| Nexus I | 1 | 1 |
| Nexus II | 5 | 1 |
| BP | 3 | 3 |
| ZEPI | 3 | 0 |
| El Pla | 2 | 2 |
| Aduanas | 4 | 3 |
| Total | 18 | 10 |

De las encuestas realizadas, cuya estructura se muestra en el capítulo 3.1.1 del presente documento, se obtienen las siguientes respuestas agrupadas para el global de los edificios (entendiendo que los resultados particulares por edificio se muestran en el capítulo de interpretación de los mismos y de forma combinada con los datos obtenidos de las monitorizaciones).

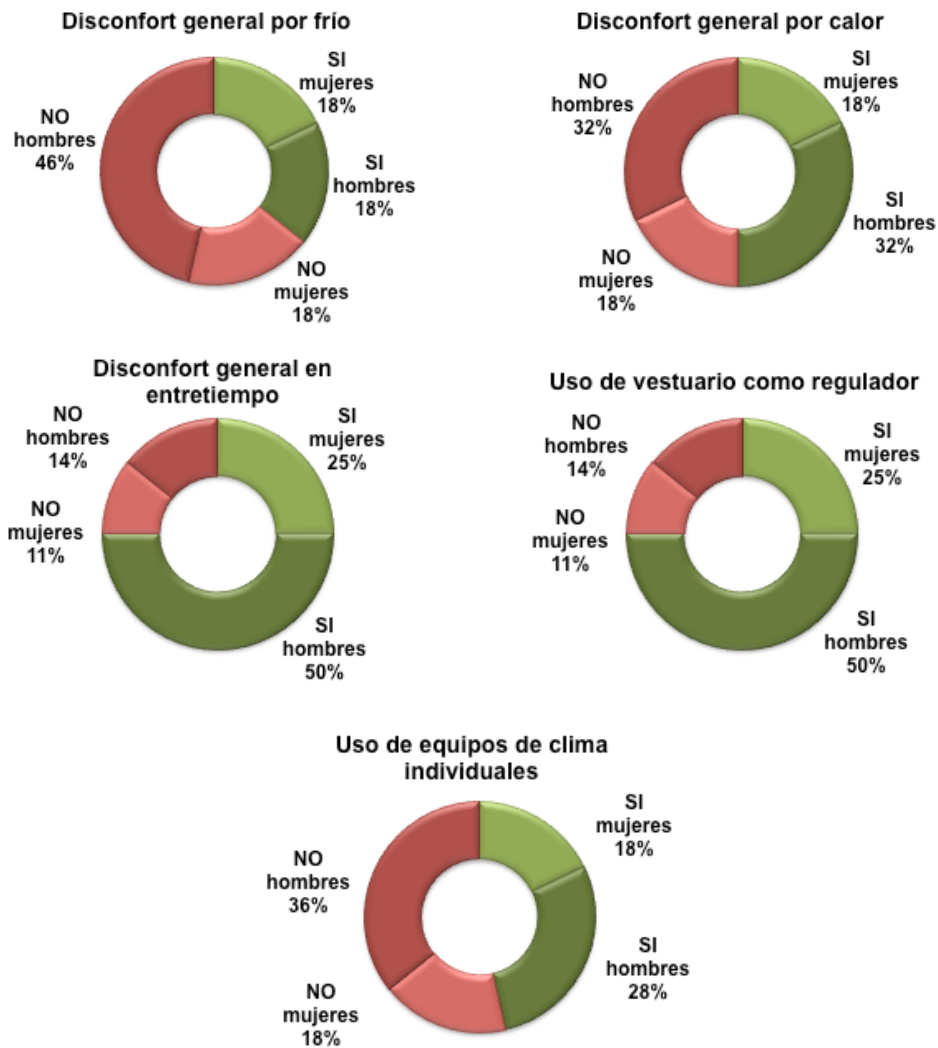


Figura 34. Distribución de resultados de confort térmico para el global de los edificios diferenciados por sexos.
Fuente: elaboración propia

En donde se han representado los resultados por sexos considerando que, si bien esta diferenciación no se considera en la evaluación de los escenarios analizados (en relación a los índices de confort), se entiende que, en la interpretación de los edificios monitorizados, puede resultar de interés en relación a los distintos metabolismos existentes entre sexos [Orosa y Oliveira, 2012].

En primera instancia, es posible comprobar como un porcentaje relevante de los usuarios (entre el 36 y el 75%) se define fuera del rango de confort térmico en épocas de frío (36%) y/o calor (50%), y/o en entretiempos (primavera y otoño con un 75%). A estas sensaciones de disconfort, la gente reacciona mayoritariamente mediante el uso de vestuarios adaptados a las condiciones, aunque casi la mitad de los usuarios (46%) combina esta medida con el uso de equipos individuales de clima (calefactores y climatizadores unipersonales).

Por otra parte, y en relación a la gestión que los usuarios hacen de los espacios y equipamientos, los resultados muestran:

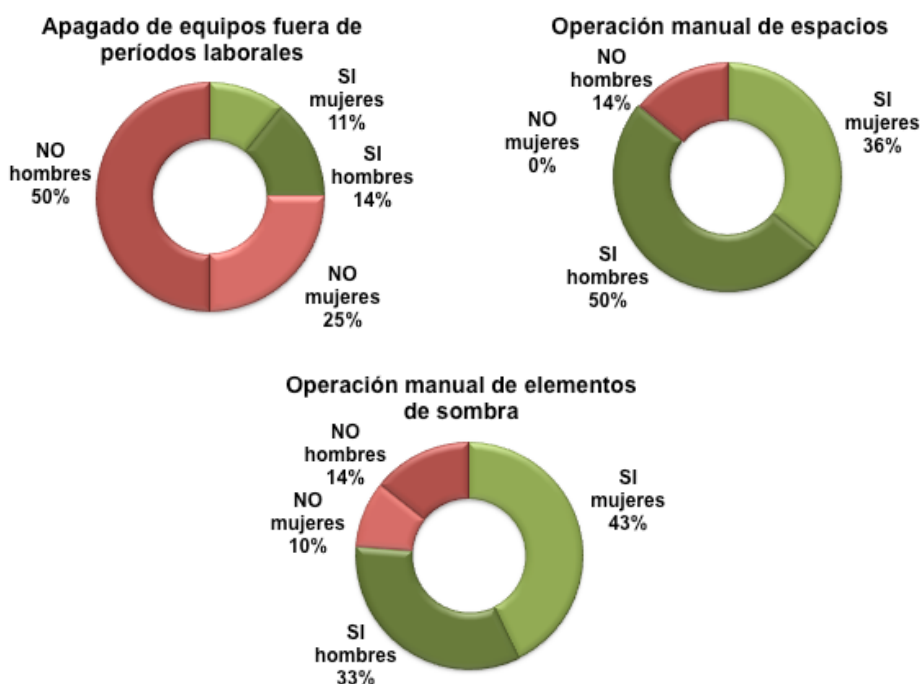


Figura 35. Distribución de resultados de gestión de los usuarios para el global de los edificios diferenciados por sexos. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia, resulta significativo el elevado porcentaje de usuarios (75%) que no gestiona el apagado de equipos fuera de los períodos laborales, principalmente al mediodía, pero también en horario nocturno, derivando en un consumo adicional directo, pero también indirecto como carga interna de cara a los sistemas de clima. Sin embargo, sí que existe una respuesta generalizada de los usuarios a la operación manual de espacios (86%), entendida como la gestión de aberturas internas, y de los elementos móviles de sombra (76%). De estos últimos, inexistentes en espacios relativos a 7 de los usuarios encuestados, se constata en las visitas y por encuestas, que su uso queda directamente relacionado con los efectos de deslumbramientos y que, en todos los casos, se lleva a cabo por tramos del día (quedando el elemento en idéntica posición durante períodos en los que, el efecto de deslumbramiento ya no existiría).

Comparativamente a estos datos obtenidos, se dispone de las encuestas de satisfacción de usuarios realizadas por el propio CZF de forma mensual para los edificios (a excepción del edificio BP, para el que no se tienen datos). Las mismas se realizan preguntando a un único usuario, distinto cada mes e independientemente de género y cargo, que debe valorar del 1 al 10 (mejor a peor). En ellas se cuestionan distintos aspectos relacionados con el entorno

laboral, de los que se han analizado los relativos a las condiciones de confort comparadas; esto es, a la temperatura y luminosidad. De esta forma,

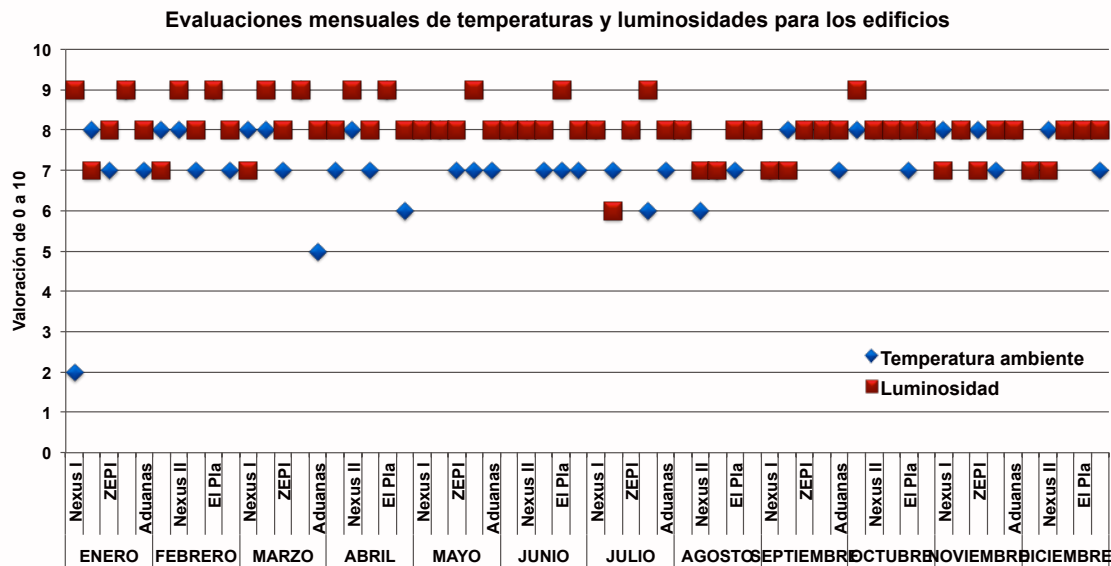


Figura 36. Representación gráfica de las encuestas de satisfacción del CZF. Fuente: CZF y elaboración propia

De las mismas se obtiene un promedio anual en luminosidad de 8 y, para el caso de temperatura, una valoración promedio de 7,5 para el global de los edificios.

Más allá de la diferencia de contenidos y formatos entre estas encuestas y las propias realizadas, esta última valoración choca significativamente con los valores obtenidos de las propias en las que, tal como se ha visto, se refleja una clara sensación de desconfort térmico en porcentajes muy elevados. Ante la divergencia entre los resultados, se valora la independencia, el conocimiento metodológico, y el foco específico de las encuestas propias, como factores de peso en la valoración de la fiabilidad de resultados.

Igualmente, de las encuestas a los jefes de mantenimiento, y más allá que éstas están orientadas a la descripción de sistemas y elementos que permitan confirmar datos de la definición de los edificios, también se requiere su opinión en relación a la operación de los sistemas de clima. Se entiende, de esta forma, que estas encuestas no reflejan las sensaciones del personal de mantenimiento, sino que completan las características técnicas de los equipamientos y, en última instancia, plantean modos de operación (encendido y apagado de equipos, o temperaturas de consigna por ejemplo) a confirmar con los datos de monitorización.

En este último sentido, y de los 6 edificios, menos en un caso en que se opera a distancia, en el resto los jefes de mantenimiento evidencian la complejidad en una operación en la que se requieren cambios constantes de consigna, tanto por períodos del día como por

zonas, según orientación o disposición (diáfanas y despachos). En uno de los casos, se constata la imposibilidad de alcanzar condiciones de consigna de confort, tanto por las limitaciones de la maquinaria existente, como por las elevadas demandas que la propia morfología y detalle del edificio comportan.

En general se constata de las propias encuestas un elevado disconfort térmico de los usuarios, tanto en épocas de invierno y verano como entretiempo, que frecuentemente se intenta combatir con el uso de equipos individuales. Igualmente, en todos los espacios en donde existen elementos de sombra móviles, estos se suelen operar para evitar deslumbramientos, aunque en un formato causa-efecto. Estos resultados, junto con las encuestas propias del CZF para algunos de los edificios y los resultados de las monitorizaciones, dibujan la realidad de la problemática interpretada en el capítulo 4.1.3 del documento.

4.1.2. RESULTADOS DE LAS MONITORIZACIONES

Para cada uno de los 6 edificios de análisis se lleva a cabo la monitorización de entre 2 y 4 espacios (18 en total), tanto despachos como zonas diáfanas e intentando que alguno de los espacios está desocupado; esto es, que evolucione libremente en temperatura y luminosidad (en el anexo correspondiente se puede observar los puntos de medición en detalle). Las monitorizaciones, para períodos de una semana, se llevan a cabo mediante la toma de datos relativos a,

- ✓ Temperatura ambiente interior
- ✓ Temperatura de superficie transparente de fachada interior
- ✓ Temperatura de superficie transparente de fachada exterior
- ✓ Luminosidad interior a varias distancias de fachada
- ✓ Humedad relativa interior

Igualmente, se obtienen datos de una estación meteorológica instalada, en cada período, en la azotea de uno de los edificios monitorizados. La agrupación de estos en semanas consecutivas se realiza considerando la proximidad física de los mismos, con el fin de que los datos de la única central meteorológica, puedan ser válidos para los edificios analizados en cada período.

De todo lo anterior se obtienen, para cada una de las 18 zonas de análisis, datos diez-minutales de las variables medidas que, a posteriori, se trabajan para obtener no solo

conclusiones directas de las mismas, sino otras variables de segundo orden como el PMV o el PPD relativo a cada caso.

Contextualizando el objetivo y uso de los datos resultantes, a continuación se muestra en detalle los valores obtenidos para una de las zonas en uno de los edificios (El Pla), como muestra de la lógica empleada. En primera instancia, se muestran los valores obtenidos de la central meteorológica;

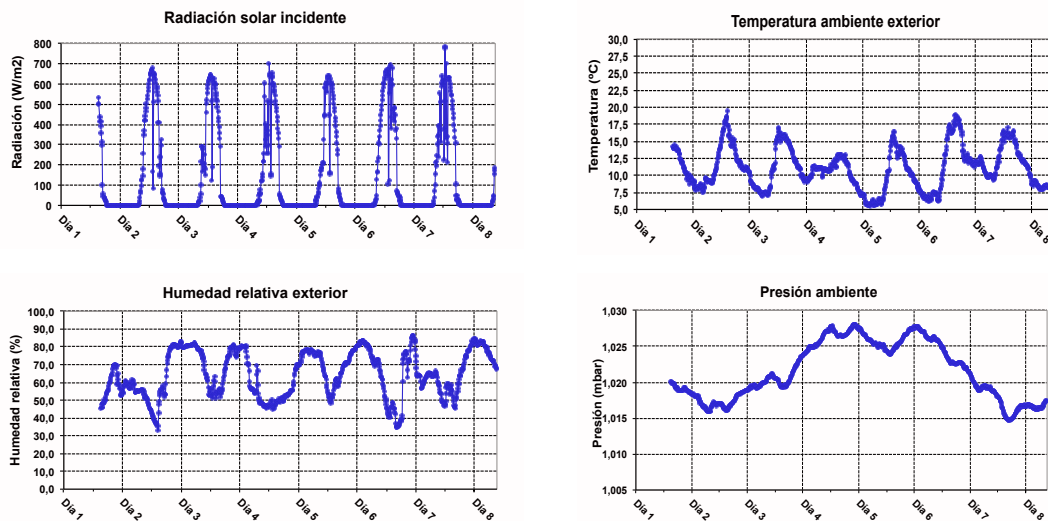


Figura 37. Evaluación de las variables climáticas medidas para el período de análisis del edificio de el Pla. Fuente: elaboración propia

Igualmente, y en relación a los datos específicos de la zona de medición,

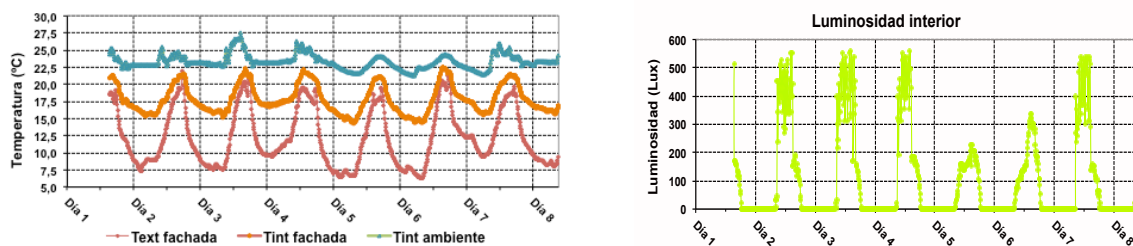


Figura 38. Evolución de las variables de medición de una de las zonas de análisis del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia

Dichos datos se utilizan en la valoración de los resultados de las simulaciones teóricas, como fuente de validación de los escenarios simulados. Igualmente, a partir de estos datos, se llevan a cabo análisis en períodos específicos (día tipo laboral y de fin de semana), y análisis comparados de variables. De esta forma, y a modo de ejemplo:

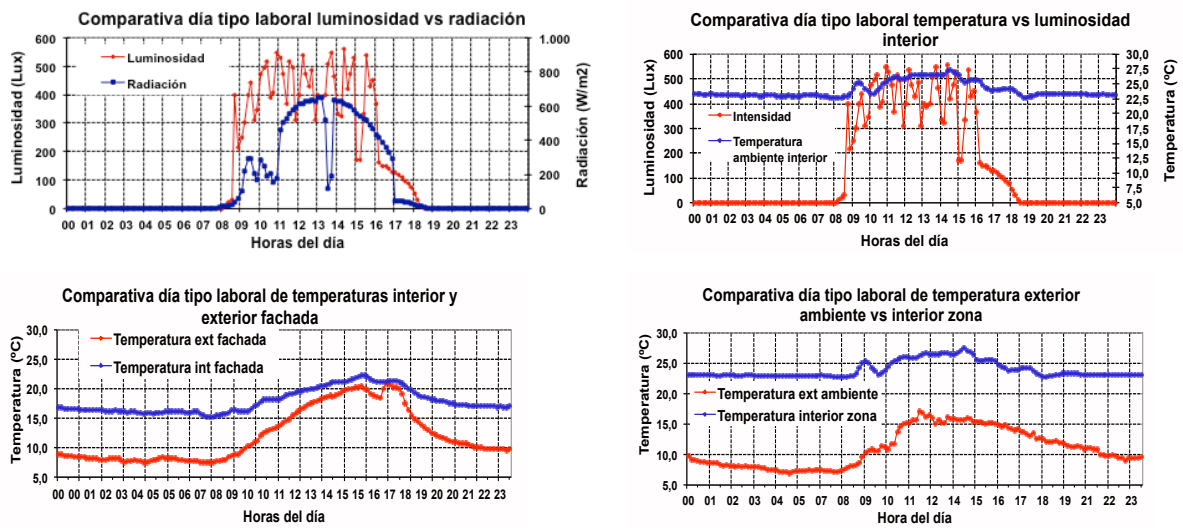


Figura 39. Comparativas cruzadas de variables de medición para días tipo de una zona del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia

Estos resultados permiten obtener conclusiones directas de espacios en base a tendencias observadas, así como confirmar valores de detalle de las simulaciones, como las temperaturas superficiales en fachada. Finalmente se determinan variables derivadas como la ocupación, el PMV y el PPD, o las temperaturas medias de espacios;

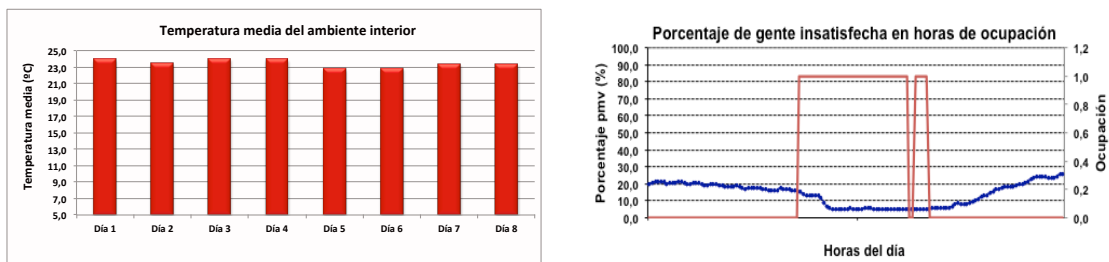


Figura 40. Ejemplos de variables derivadas para una zona tipo del edificio de El Pla. Fuente: elaboración propia

En donde cabe aclarar, en relación a la representación gráfica del indicador PPD para zonas ocupadas, que este se ha calculado también para las horas en que no existe ocupación, puesto que ello indica el funcionamiento real del edificio sin considerar los sistemas de clima. Es decir, como responde el edificio en condiciones libres a las condiciones ambientales. En las horas en que si que existe ocupación, el indicador considera de esta forma no solo el comportamiento pasivo del edificio, sino la capacidad de los sistema de clima de llegar a las condiciones de consigna.

Es necesario considerar el objeto de las mediciones efectuadas que, a pesar de ser datos de campo, no conforman el núcleo del análisis principal, sino que sirven para la constatación de la problemática y la validación de las hipótesis de simulación. De esta forma, y considerando la ingente cantidad de datos disponibles (casi 1.000 registros para 13

variables en cada una de las 18 zonas de medición, dando más de 230.000 valores), el Doctorando valora la no utilidad de representar, para cada una de las zonas medidas, las distintas variables más allá de la mostrada a nivel de ejemplo. En este sentido, se determina más operativo relatar las valoraciones obtenidas para cada una de las zonas y edificios de forma resumida, tal como se hace en el siguiente capítulo. En cualquier caso, en el Anexo II se muestran las conclusiones por edificios y en la entrega digital de la presente Tesis, se adjunta en el CD el conjunto de registros obtenidos de las monitorizaciones de todos los edificios.

4.1.3. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS Y DETERMINACIÓN DE LAS PROBLEMÁTICAS

De lo anterior, tanto a nivel de datos de monitorización, como a nivel de encuestas que faciliten la interpretación, se obtienen las siguientes valoraciones del comportamiento térmico y lumínico para cada uno de los edificios analizados en esta Fase. En la lectura mostrada a continuación de las valoraciones obtenidas, debe considerarse que los análisis se llevan a cabo en base a los datos monitorizados, esto es, en base a parámetros de confort. Ello significa que, aunque un edificio dado ofrezca unos parámetros de confort más o menos aceptables, ello no significa que el consumo energético relacionado para alcanzar los mismos sea más o menos eficiente. Se trata pues, de determinar el grado de la problemática inherente a los edificios en relación a las condiciones interiores, y no a los consumos energéticos, que son motivo de análisis en las Fases de valoración de los escenarios teóricos. De esta forma, y considerando solo la vertiente de confort, se tiene

✓ Edificio Nexus I

- Los índices de iluminación se mueven en rangos correctos (valor comparativo con normativa de aproximadamente 1) con un aporte de aproximadamente del 40% de luz natural, aunque en alguna de las zonas los índices quedan por debajo de los valores deseados.
- En las horas de ocupación, los valores del PPD están cercanos al 5% (considerados correctos), aunque para días festivos estos valores alcanzan porcentajes del 30%, lo que indica el grado de necesidad de los sistemas de clima, así como la idoneidad en el dimensionado de los mismos.
- El PMV para días de ocupación estaría entorno a 0, con lo que se aprecia un confort significativo en horarios laborales. Los valores para días de no ocupación, indican un problema de enfriamiento de las zonas de análisis; tal como se ha

indicado en anterioridad, ello representa un indicador a la vulnerabilidad del edificio a sus condiciones ambientales.

✓ Edificio Nexus II

- En las zonas de no ocupación, se puede observar como la incidencia de la radiación solar comporta unos factores de iluminación muy por encima de los ideales (es decir, deslumbramientos). En el caso de las zonas ocupadas, este factor se repite en las horas de incidencia solar indicando una falta de buen sombreado. En dichas zonas, y cuando se llega a un buen sombreado, el ratio de iluminación queda muy por debajo de los valores óptimos indicando falta de iluminación artificial.
- Igualmente el PPD varía entre el 5% y valores claramente superiores debido al poco aislamiento térmico del edificio, constatado a partir de las mediciones de las temperaturas superficiales de fachada.
- En este sentido, el PMV nos indican que los usuarios tendrían un discomfort leve por exceso de frío en general, menos en las horas de incidencia de la radiación solar en las que el discomfort sería por sobrecalentamiento.

✓ Edificio BP

- El índice comparativo de iluminación real vs normativa está, durante las horas de ocupación, en un valor promedio de 0,8, y su valor durante el fin de semana es muy bajo (0,2). Ello permite concluir que la incidencia del sol es muy baja, y que la iluminación artificial es menor a la establecida normativamente. En la zona desocupada, en cambio, sería necesario el uso de elementos de protección solar, en determinadas horas del día, para proteger a los usuarios de la alta incidencia de radiación.
- Los valores de PPD, durante el periodo de ocupación, llegan hasta valores del 30% (lejos del 5% ideal). Sin embargo, cabe destacar que los valores de 30% se dan al inicio de la jornada, debido a la baja velocidad de calentamiento del sistema de clima.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cerca de 0) indican que la sensación térmica de los usuarios es neutra (ni frío ni calor). Al inicio de la jornada los usuarios pueden tener una leve sensación de frío, por lo que se ha comentado en el punto anterior. Igualmente para la zona desocupada, y en caso

que esta estuviera en uso, los usuarios sufrirían exceso de calor en las horas centrales del día, pese a ser finales de otoño.

✓ Edificio ZEPI

- El índice de iluminación real vs normativa durante las horas de ocupación y en los despachos a Sur, indica una correcta iluminación de los mismos cuando no incide el Sol, pero una sobre iluminación cuando este incide directamente. Cuando únicamente tenemos iluminación natural, el valor de iluminación es un 30% menor al normativo. En el caso de los despachos Norte, la iluminación es la correcta a nivel normativo.
- Los índices PPD con valores fluctuantes entre el 10 y el 40% indican una situación de discomfort debido, probablemente, a una temperatura de consigna baja de las zonas.
- Esta conclusión viene refrendada por un valor del índice PMV cercano a -1. Estos valores se dan, en algunas zonas, solo a primera hora de la mañana alcanzando, hacia el mediodía, un valor 0.

✓ Edificio El Pla

- Los índices de iluminación son correctos, normativamente, durante las horas de ocupación en la zona de fachada norte. En la zona opuesta, estos índices son extremadamente elevados en las horas de incidencia solar directa, e inferiores a lo deseable en el resto del tiempo, indicando una mala iluminación de estas zonas.
- El índice PPD da valores correctos de confort (inferiores al 20% de media) en la zona norte, mientras que en la opuesta se alcanzan valores de discomfort rallando el 100% en algunas horas del día.
- En este sentido el índice PMV indica un valor 0 de situación de confort para la zona norte, y unos valores cercano a 3 (sobrecalentamiento extremo) en las zonas opuestas.

✓ Edificio Aduanas

- La iluminación medida media indica valores correctos normativamente, aunque con unos datos ligeramente inferiores a la ideal en algunas zonas, o claramente superiores, en otras, debido a la incidencia de radiación solar directa.
- El porcentaje de gente insatisfecha varía entre un 30% medio y picos de hasta un 70% debido al sobrecalentamiento de fachadas.

- El voto medio previsto alcanza valores de 1.8 indicando que, en las horas de mediodía, los usuarios sufren calor, en especial los más cercanos a las ventanas.

De todo lo anteriormente expuesto, se deduce que los edificios quedan más o menos lejos de las condiciones de confort ideales, más allá de la capacidad que tengan los sistemas para responder a las demandas térmicas y lumínicas, y los consumos energéticos y económicos que de ello se puedan derivar. Es decir, los indicadores muestran como en la mayoría de casos las condiciones operacionales en horarios laborales no alcanzan los valores óptimos, mientras que muestran la vulnerabilidad de los mismos a las condiciones ambientales y, con ello, la necesidad intensiva del uso de las máquinas de clima y la iluminación artificial. Igualmente, se aprecia una variación significativa de resultados en base a la orientación de las zonas de análisis debido, en parte, a la elevada proporción de huecos en fachada (considerando que los edificios, además, pertenecen a una época anterior a la normativa CTE 2007 y, con ello, con unas condiciones constructivas independientes de las orientaciones).

Se considera que dichas valoraciones de los datos de monitorización, junto con las apreciaciones cualitativas obtenidas de las encuestas de los usuarios, justifican la motivación principal de la presente Tesis de un análisis detallado de esta tipología de edificios.

4.1.4. VALIDACIÓN DE LAS HIPÓTESIS DE SIMULACIÓN

Se utilizan algunos de los resultados de las monitorizaciones como fuente de verificación de hipótesis (operación de soluciones específicas) y de validación de los resultados de simulaciones, entendida ésta como orden de magnitud de resultados térmicos (entendiendo que en los edificios analizados, los consumos lumínicos son más fácilmente reproducibles por carecer de sensores de iluminación natural y regulación de potencia). Aunque posteriormente los análisis teóricos que conforman el núcleo de la Tesis no se corresponden con ninguno de los escenarios reales validados, ni en su mayoría a las condiciones de operación de estos, se considera el interés de comprobar la capacidad de reproducción de resultados reales en base a simulaciones, con el fin de establecer un orden de magnitud de verificación de estos.

Desde esta perspectiva, y considerando tanto el foco de la valoración como los datos disponibles de monitorización, en cuanto a período temporal, se considera esta valoración

desde el análisis de consumos energéticos, y no de demandas o de variables dependientes. A tal fin, se trabaja en dos direcciones:

- ✓ Por una parte, de los datos de definición de los edificios, de la información a nivel de auditoría recopilada en las visitas, y de los valores obtenidos de la monitorización, se establecen las características y definiciones de los ficheros matemáticos de simulación de los edificios analizados, así como los factores multiplicadores de rendimientos de sistemas obtenidos de datos de Eurovent a un percentil del 75% de rendimiento en el rango de potencias trabajado [Fairey et Al., 2004].. Sobre los datos obtenidos de las simulaciones a nivel de zona, se realiza una hipótesis de extrapolación a planta (por asimilación por orientaciones y superficies), y a nivel de edificio (considerando unos ratios de 1,2 en consumos de planta bajo cubierta respecto a la planta tipo, y de 1,2 en calefacción y 0,9 en refrigeración en planta baja respecto a planta tipo, como valores de referencia en base a experiencias del Doctorando). Con ello, se obtiene un consumo estimado a nivel de clima para el global del edificio.
- ✓ Por otra parte, se usan datos cedidos por la propiedad del consumo anual de los edificios. Sobre estos, y considerando que en la mayoría de casos no existe una disgregación por usos, se establece un consumo estimado de clima (calor y frío). Para ello se utilizan, por una parte, los mismos datos obtenidos de las visitas (en cuanto a consumos estimados de equipamientos e iluminación), y se hace una corrección a la baja para considerar, por otra parte, otros consumos no considerados (ascensores y otros) con un factor multiplicador de 0.9 extraído de otro edificio del CZF (auditado por el Doctorando en un trabajo previo y fuera de esta Tesis). De esta forma, se obtiene un valor sintético de consumo estimado de clima (calor y frío).

De la confluencia de los datos por estas dos vías, se compara los resultados de las simulaciones, con los consumos sintéticos de clima provenientes de datos reales. Queda claro que el procedimiento pretende establecer un orden de magnitud y una validación de modelos, que no una calibración de los mismos.

De todo ello, se obtienen los valores mostrados en la siguiente tabla, en donde se caracterizan los principales elementos que definen los edificios, se definen los consumos globales de los mismos (en base a factura energética), y se muestran los resultados del procedimiento sintético de cálculo del consumo energético en clima, así como los resultados de las simulaciones y las divergencias entre ambos.

En relación a estos últimos, los valores de validación fluctúan entre el 11,7% para el edificio de El Pla, y el 21,8% del edificio BP. Como referencia se considera el valor establecido por el protocolo internacional de medida y verificación IPMVP [IPMVP, 2014] que determina la validez de una calibración, en base a simulación dinámica, cuando los resultados difieran, respecto a consumos reales, en un máximo del 15% anual. De esta forma, y considerando los objetivos del proceso planteado, se considera que los resultados obtenidos alcanzan un orden de magnitud satisfactorio en el marco de validación del procedimiento. En este contexto, no se analizan en detalle los valores específicos obtenidos, ni se realizan procesos iterativos de refinamiento, por considerarse un trabajo carente de objetivos en el marco de la presente Tesis.

Tabla 11. Valoración del orden de magnitud de los valores estimados de consumo energético de clima con valores sintéticos procedentes de consumos reales. Fuente: elaboración propia

| Edificio tipología | | | Equipo de clima | | | Consumos anuales (KWh/año) | | | |
|--------------------|---------------------|--------------------------|--|---------------|--------------------|----------------------------|----------------|----------------|------------------|
| Nombre | Tipo de cerramiento | Tipo de vidrio | Tipología | Potencia (kW) | Equipos difusores | Real global | Estimado clima | Simulado clima | Diferencia anual |
| Nexus I | Fachada continua | Doble reflectante oscuro | Bomba de Calor centralizada | 90,9 | Fan coils | 889.320 | 462.446 | 546.299 | 18,1% |
| Nexus II | Cámara ventilada | Doble claro | Bomba de Calor centralizada | 32,8 | Fan coils | 1.776.836 | 977.260 | 1.169.518 | 19,7% |
| El Pla | Ventana | Doble baja emisividad | Bomba de Calor centralizada | 38,4 | Difusión por techo | 390.537 | 175.742 | 196.220 | 11,7% |
| | | | | 58,1 | Difusión por techo | | | | |
| Centre de Serveis | Ventana | Simple | Bomba de Calor centralizada | 90,9 | Fan coils | 833.751 | 341.838 | 387.089 | 13,2% |
| Edificio BP | Ventana | Simple | Caldera (ACS+Calefacción) y enfriadora | 119,0 | Fan coils | 458.239 | 197.043 | 239.965 | 21,8% |
| Edificio Aduana | Cámara ventilada | Doble reflectante oscuro | Bomba de Calor centralizada | 65,7 | Difusión por techo | Sin datos disponibles | ---- | --- | --- |
| | | | | 71,2 | Difusión por techo | | | | |

CAPÍTULO 4.2. RESULTADOS DEL ESCENARIO BASE

De las Fases de trabajo en definición y diseño de escenarios (F.1.2. y F.2.1.) y de modelación y simulación de los mismos (F.2.2.), se obtiene un primer conjunto de resultados finales que conforman el núcleo de la presente Tesis. Dichos resultados se analizan desde una perspectiva de caso (edificio específico) y de escenario (conjunto de casos), a través de la valoración de las variables de interés relativas a demandas energéticas, consumos energéticos, confort lumínico y térmico, y ciclo de vida económico. La interpretación de los resultados obtenidos se realiza, principalmente, a partir de la representación gráfica de los mismos. Efectivamente, la ingente cantidad de datos obtenidos requiere varias representaciones gráficas orientadas a fin de poder entender e interpretar todos los resultados. Considerando que para cada uno de los casos de análisis (1.260) se tienen como variables de interés las demandas térmicas (3 relativas a refrigeración, calefacción y carga latente), los consumos energéticos (4 relativos a refrigeración, calefacción, consumo latente e iluminación), y parámetros de confort (3 relativos a confort en frío, calor e iluminación), se obtienen un conjunto de 12.600 resultados a los que añadir los específicos del ciclo de costes económicos. Tanto por el contexto del orden de magnitud del número de resultados, cómo del objetivo principal de la lectura comparada de casos, se considera el análisis en base a resultados integrados anuales. Esto es, cada uno de estos 12.600 resultados directos mencionados se da en valor anual, fruto de la integral de los valores horarios (8.760 registros por variable) de cada uno de ellos. De esta forma, y a pesar de disponer de los datos temporales, no se contemplan análisis horarios, ni mensuales, ni estacionales que, en el contexto de interpretación del problema, se entiende que dificultarían la obtención de conclusiones claras (aunque internamente se hayan valorado datos estacionales, para la verificación de los resultados). A nivel de caso, se desarrollan hojas de cálculo (formato Excel) que, agrupando resultados en función de orientaciones y de variables, permiten comparar los distintos valores específicos en grado de detalle para las variables de interés. De esta forma, se representan gráficamente las variables de interés de forma específica por orientación y por parámetro de análisis (fachadas, huecos y elementos de sombra), entendiendo que la orientación condiciona los resultados obtenidos.

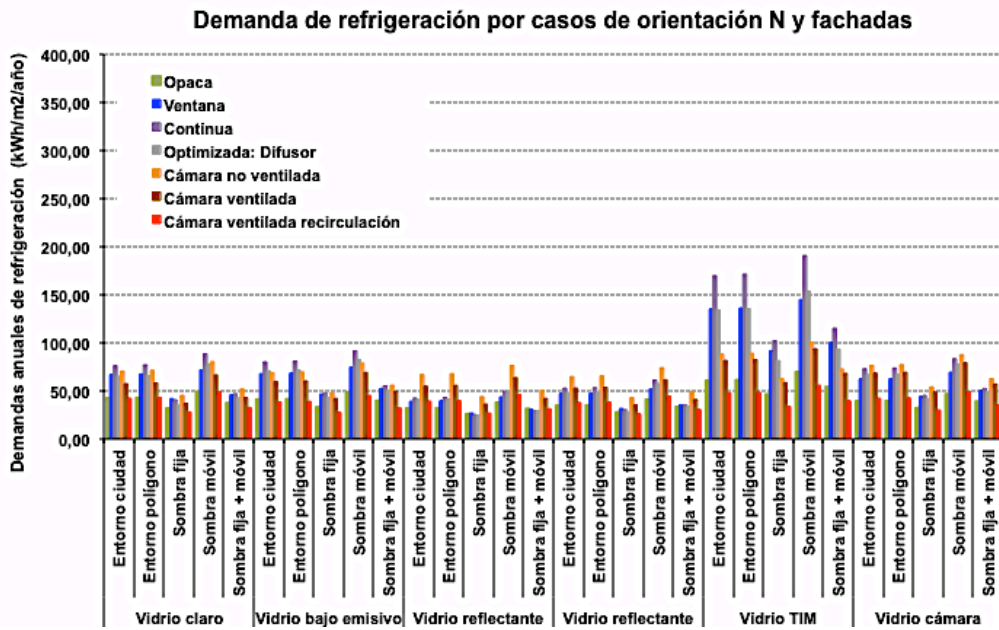


Figura 41. Ejemplo de representación gráfica de variable de interés (demanda refrigeración) para una determinada orientación (N) en casos del escenario base. Fuente: elaboración propia

De esta forma se tienen, para este escenario base, un conjunto de 60 representaciones gráficas de este tipo (3 en demanda, 4 en consumo y 3 en confort para las 6 orientaciones de análisis), a través de las cuales es posible generar un guión argumental de interpretación de los resultados. Igualmente, y para la variable de interés de consumo energético, se añade otro tipo de representación gráfica de consumos por usos que permita, de forma agrupada, interpretar la realidad de los distintos casos por orientaciones.

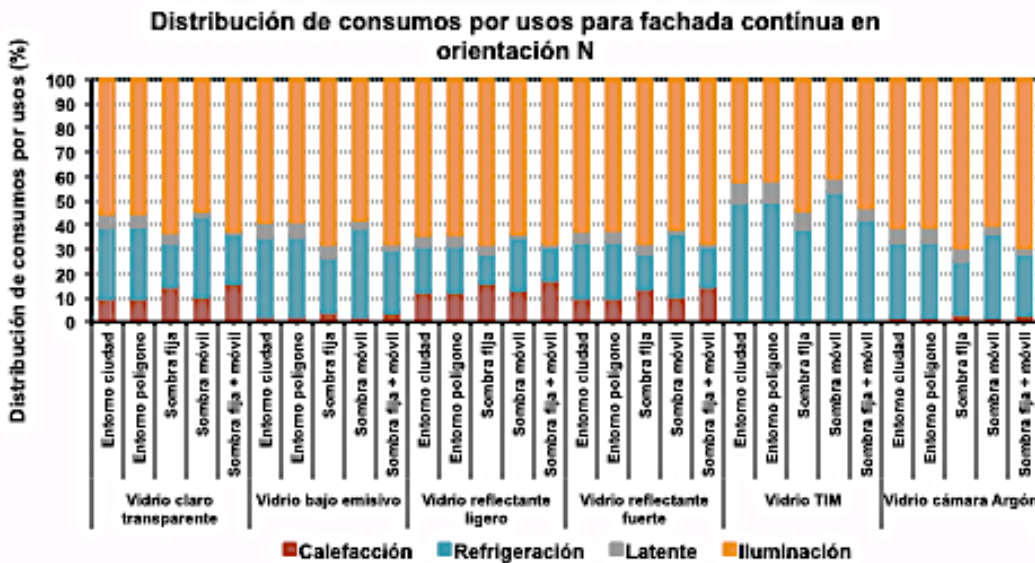


Figura 42. Ejemplo de representación gráfica de distribución de consumos por usos para una determinada tipología de fachada (continua) en una orientación dada (N). Fuente: elaboración propia.

De este tipo de representación de consumos por usos, existen 42 gráficas correspondientes a las tipologías de fachadas (7) por orientaciones (6).

En última instancia, se procede a representar de una vez los valores de todos los casos buscando la interpretación comparativa de los mismos. De esta forma, y para cada uno de los 4 indicadores principales (demandas energéticas, consumos energéticos, confort y ciclo de vida económico), se procede a la representación de todos los casos en una única imagen gráfico-numérica. Esto es, se establece un código o escala de colores por el que, para cada rango de valores de una de las variables de interés, se le asigna un color. De esta forma, y sin entrar en el detalle de los valores representados, se pueden evaluar los resultados comparados de una sola vez.

| TIPO 0: FACHADA CONVENCIONAL | | N | | | | E | | | | SE | | | | S | | | | SO | | | | O | | | | | |
|------------------------------------|--|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|-------|-------|---------|--------|------|-------|
| | | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | Qheat | Qcool | Qlatent | Qlight | | |
| | | 3,76 | 42,45 | 11,58 | 69,27 | 2,13 | 48,74 | 12,75 | 69,27 | 0,57 | 46,18 | 15,66 | 69,27 | 0,07 | 67,68 | 18,03 | 69,27 | 0,88 | 62,83 | 16,05 | 69,27 | 2,11 | 57,29 | 14,24 | 69,27 | 3,76 | 42,45 |

Figura 43. Detalle ejemplo (para la fachada tipo 0) de la representación gráfico-numérica conjunta de los resultados de demandas por variables de análisis. Fuente: elaboración propia

En base a todo lo anterior se procede, a continuación a la representación e interpretación de los resultados de este escenario base primero según demandas, después por consumos, en tercera instancia por confort, y finalmente en resultados comparados entre casos del escenario.

4.2.1. RESULTADOS ESPECÍFICOS EN DEMANDAS ENERGÉTICAS DEL ESCENARIO BASE

En primera instancia se procede a la representación gráfica y valoración de las demandas energéticas asociadas a los 1.260 casos del escenario base. De esta forma, las representaciones se ordenan agrupándolas por cada una de las variables de interés de demanda: demanda de refrigeración, demanda de calefacción, demanda de carga latente.

Resultados de demandas energéticas de refrigeración

Se representan los valores obtenidos para cada una de las 6 orientaciones de análisis.

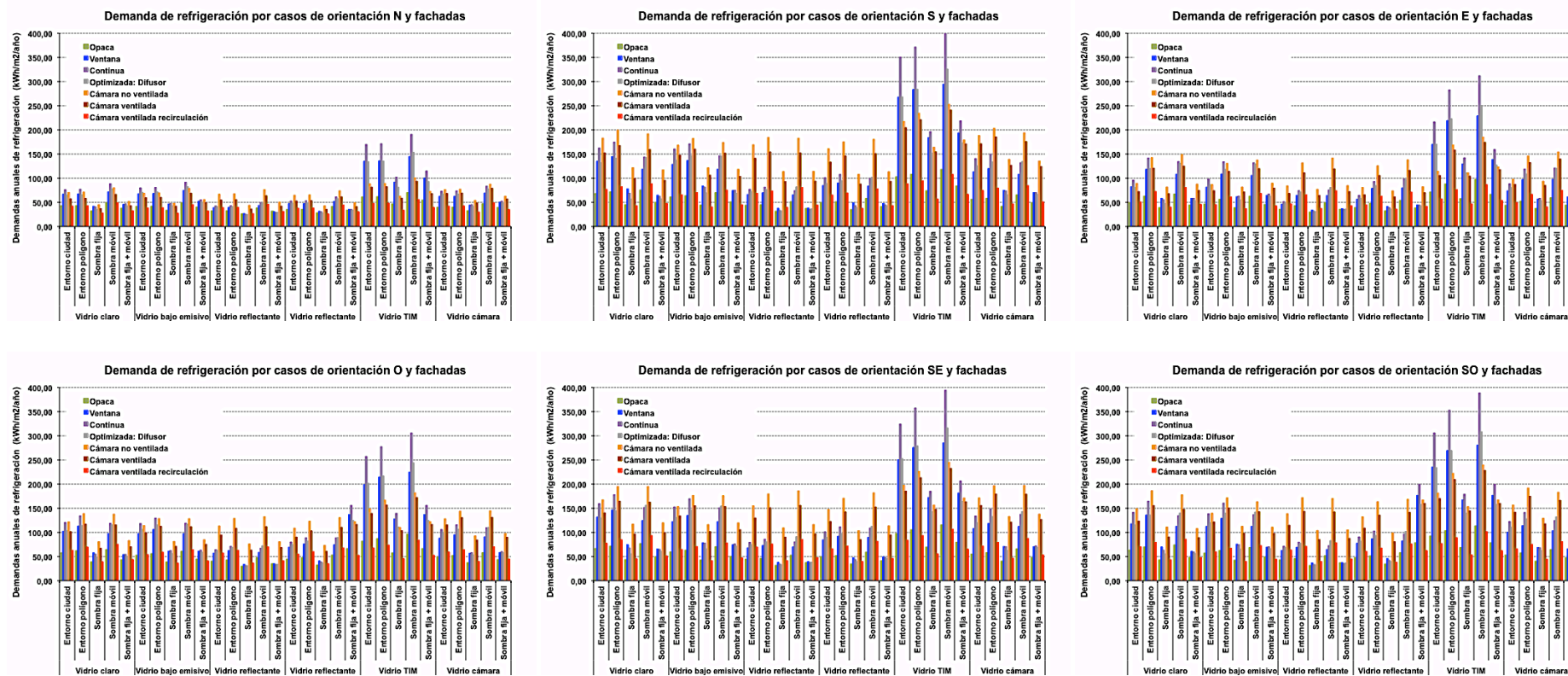


Figura 44. Demandas de refrigeración para los casos de análisis del escenario base, según orientaciones. Fuente: elaboración propia

En donde, más allá de los valores concretos, es importante el análisis cruzado para casos según parámetros y orientaciones.

De los valores representados, se cree de interés representar los resultados promedio por orientaciones y fachadas, entendiendo que estos conforman los dos principales parámetros de análisis. De esta manera,

Tabla 12. Valores promedio (hueco y sombra) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m²/año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. | Var. |
|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-------------|
| N | 40,9 | 63,2 | 73,0 | 67,3 | 58,3 | 63,8 | 38,8 | 57,9 | -39% |
| E | 50,7 | 89,1 | 105,2 | 113,3 | 99,2 | 92,8 | 55,7 | 86,6 | -9% |
| SE | 58,9 | 112,6 | 133,8 | 161,3 | 141,5 | 117,0 | 67,6 | 113,2 | 19% |
| S | 59,7 | 114,3 | 135,4 | 166,5 | 145,7 | 116,7 | 66,4 | 114,9 | 21% |
| SO | 58,8 | 110,8 | 130,7 | 153,6 | 135,1 | 114,2 | 63,9 | 109,6 | 15% |
| O | 52,6 | 93,0 | 109,5 | 117,8 | 103,8 | 96,5 | 56,4 | 89,9 | -6% |
| Prom. | 53,6 | 97,2 | 114,6 | 129,9 | 113,9 | 100,2 | 58,1 | 95,4 | |
| Var. | | 81% | 114% | 142% | 113% | 87% | 8% | | |

En donde se utiliza la nomenclatura simplificada por la que:

- F00 - Fachada opaca
- F01 - Fachada ventana
- F02 - Fachada continua
- F03 - Fachada con cámara no ventilada
- F04 - Fachada con cámara ventilada
- F05 - Fachada optimizada con difusor
- F06 - Fachada con cámara ventilada recirculación
- Prom - Promedio de valores (por orientación o por fachada)
- Var. - Variación de los valores promedio en relación a la referencia promedio (F00 en fachadas, y promedio en orientaciones)

En base a lo anterior, se lleva a cabo una primera interpretación de resultados ordenada por conceptos y parámetros de análisis.

- ✓ **MAGNITUD.** Las demandas de frío sensible resultan en un orden de magnitud elevado (entre 25 y 200kWh/m²/año, con picos de hasta 400kWh/m²/año para el caso de vidrio TIM) que es, de media, aproximadamente el triple de las demandas resultantes del edificio tipo de oficinas opaco del Plan energético de Barcelona [PMEB, 2001]. De los casos analizados, los valores de esta variable para los edificios *transparentes* son substancialmente mayores que para el edificio denominado opaco con incrementos, respecto a este, de entre el 81 y el 142%. La excepción a esta apreciación la constituye la Fachada 6 (cámara ventilada con recirculación) que, de

media, solo muestra una diferencia con la fachada opaca del 8% en demandas anuales.

- ✓ ORIENTACIÓN. Los valores varían ostensiblemente en función de la orientación, siendo los casos con menos demandas los correspondientes a las fachadas orientadas a Norte (de promedio 58kWh/m²/año), y los que tienen valores más elevados los casos que corresponden a las orientaciones a Sur (de promedio 115kWh/m²/año). De las orientaciones intermedias, los casos con orientaciones SE y SO son los que tienen el segundo rango de demandas más elevadas (de promedio 113 y 100kWh/m²/año respectivamente), mientras que los casos orientados a E y O son se asemejan más al comportamiento de la orientación N (de promedio 87 y 90kWh/m²/año respectivamente). Se debe considerar, en este sentido, la división entre orientaciones que establece el CTE y que se ha utilizado en el análisis, así como la zona climática analizada.
- ✓ FACHADAS. Según las tipologías de fachadas, los valores de esta variable son significativamente distintos. En promedio, las fachadas que tienen una mayor demanda de frío son la tipo continua (F02) y la fachada con cámara de aire no ventilada (F03) con valores entre 115 y 130kWh/m²/año respectivamente. Al contrario, las fachadas con un índice de demandas de frío inferior, son la fachada opaca (F00) y la fachada doble con ventilación y recirculación (F06) con valores entre 54 y 58kWh/m²/año respectivamente. Las variaciones entre ellas son mayores o menores en función de las tipologías de soluciones en hueco y la existencia o no de elementos de sombra. Igualmente, las diferencias son significativamente mayores en los casos de orientaciones con más demandas de frío (con valores entre 161 y el 179% para las orientaciones S, SE y SO entre los casos de demanda mínima y máxima por fachadas) y menores aquellos con menos demandas de frío (con valores entre 88 y el 124% para las orientaciones N, NO y NE entre los casos de demanda mínima y máxima por fachadas). Dicho de otra manera, para las orientaciones en las que el problema de sobrecalentamiento de la zona es menor (N y, en menor medida, NO y NE), aunque la tendencia es la misma que en las otras, existen otros elementos (vidrios, elementos de sombra) que pueden condicionar la conclusión. En cambio en las orientaciones de demandas de frío más elevadas (S, SE y SO), claramente las fachadas con un comportamiento peor tienen unas demandas significativamente mayores. Finalmente cabe destacar que las fachadas que comparativamente se

encuentran con valores intermedios (F01, F04 y F05), continúan teniendo demandas significativamente más elevadas que las del caso opaco (entre el 81 y el 113%) y, a igualdad de condiciones, suelen ser peores las de doble piel que el resto (con excepción de la mencionada de recirculación).

- ✓ **VIDRIOS.** Las tipologías de vidrios, aunque responsables de ciertas variaciones de los niveles de demandas de frío, resultan, en promedio, en variaciones porcentualmente inferiores a las de otros parámetros (cómo los parámetros fachada u orientación) con variaciones entre valores promedio según tipología de vidrio de entre -30 y el 30%.

Tabla 13. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m²/año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|----------------------------------|-----------------|------------------|
| Vidrio claro transparente | 90,1 | -5% |
| Vidrio bajo emisivo | 89,0 | -7% |
| Vidrio reflectante ligero | 67,4 | -29% |
| Vidrio reflectante fuerte | 76,9 | -19% |
| Vidrio TIM | 158,1 | 66% |
| Vidrio cámara Argón | 90,6 | -5% |
| Promedio | 95,4 | |

Existe una única excepción a esta tendencia que son los casos de vidrios con material TIM. En estos casos, las demandas se disparan ostensiblemente (con variaciones promedio del 66% respecto al valor promedio de referencia) debido a la propia definición de estos materiales. El TIM es una solución que pretende optimizar el comportamiento lumínico a la vez que actúa de aislante térmico. Bajo estas premisas, el TIM es un material que puede ser muy útil en determinadas tipologías de edificios (como los de oficinas aquí analizados) pero en climas más fríos en los que las demandas de calefacción sean predominantes. En climas en los que los sobrecalentamientos son la principal problemática, un aumento de aislante en la piel del edificio resulta en un aumento de las demandas de frío debido a que, al calor establecido en el interior de las zonas, le es más difícil disiparse hacia el exterior. Por tanto esta solución transparente, para este clima Mediterráneo, no evita la entrada perniciosa de la radiación solar, ni a su vez facilita la salida del calor del interior del edificio. En el resto de casos, y aún subrayando la uniformidad de resultados, se pueden agrupar considerando que los vidrios reflejantes ligeros y fuertes tienen

tendencias similares entre ellos, y los bajos emisivos igualmente con los de cámara de Argón.

- ✓ **ELEMENTOS DE SOMBRA.** Los distintos casos según variaciones de los elementos de sombra, presentan resultados significativamente distintos, siguiendo siempre las mismas tendencias independientemente de la tipología de fachadas, vidrios u orientaciones. Es decir, aunque estas tendencias sean más pronunciadas para unas orientaciones (S, SE y SO) que para otras (N, NE, y NO), para unas tipologías de fachadas (las de demandas intermedias: ventana, continua, cámara ventilada y optimizada) más que para otras (cámara no ventilada, ventilada con recirculación y opaca), o para unos vidrios (TIM, bajo emisivos y con Argón) más que para otros (simple, reflectante ligero y reflectante fuerte), las tendencias siempre se reproducen en mayor o menor intensidad. Igualmente, las variaciones entre casos promedio resultan menos representativas que para los parámetros de interés orientación y tipología de fachada.

Tabla 14. Valores promedio (orientaciones, fachadas y vidrios) de demandas anuales de refrigeración (kWh/m²/año) por tipologías de elementos de sombra. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Entorno ciudad | 100,7 | 6% |
| Entorno polígono | 115,1 | 21% |
| Sombra fija | 66,2 | -31% |
| Sombra móvil | 119,4 | 25% |
| Sombra fija + móvil | 75,4 | -21% |
| Promedio | 95,4 | |

En este sentido, el peor caso en valores promedio es el de existencia de elementos de sombra móviles. Cabe remarcar que, para los casos del escenario base, la operación de los elementos de sombra móvil representa un uso de las mismas en que, una vez estas actúan como respuesta a un deslumbramiento, quedan en la misma posición durante el resto de la jornada. Entendiendo que, cuando se da esta situación se considera la existencia de una cámara de aire que actúa como barrera térmica, y las elevadas cargas internas de la tipología de edificio analizado, ello resulta en un aumento de las demandas de refrigeración. En los escenarios optimizados se analizan variantes a este efecto. Para el resto de casuísticas, se observa como los casos con demandas promedio más bajas son los que consideran la existencia de elementos de sombra fijos (66 y 75kWh/m²/año considerando la existencia o no de elementos

móviles), mientras que el entorno polígono destaca por las elevadas demandas promedio ($115\text{kWh/m}^2/\text{año}$) como respuesta a la inexistencia de ningún elemento protector de la radiación solar incidente, ni si quiera del entorno del edificio.

No se considera de forma fehaciente la interpretación de otros resultados cruzados ya que se considera que, aunque puedan aportar información de detalle, derivan en una pérdida de foco de la interpretación general de los resultados.

Aunque no resulta el objeto de la presente Tesis el optimizar el mejor diseño de edificios de oficinas en clima Mediterráneo, se entiende que en el marco teórico presentado, y como una directriz más a considerar, es posible valorar cuales son las soluciones que comportan un mejor comportamiento. De lo anterior, y considerando solo la componente de demandas de refrigeración y la existencia de todas las orientaciones en un edificio dado, una composición con fachada tipo F00, vidrios reflejantes ligeros y protegidos con elementos de sombra fijos, arrojaría los resultados promedio más óptimos.

Resultados de demandas energéticas de calefacción

De forma análoga al caso de las demandas de refrigeración, se muestran y analizan las demandas energéticas de calefacción según las distintas variables de estudio. De la representación gráfica de las mismas, se ha modificado la escala de valores (hasta $50\text{kWh/m}^2/\text{año}$) en relación al análisis de las demandas de refrigeración (hasta $400\text{kWh/m}^2/\text{año}$), con el fin de facilitar la lectura de los resultados.

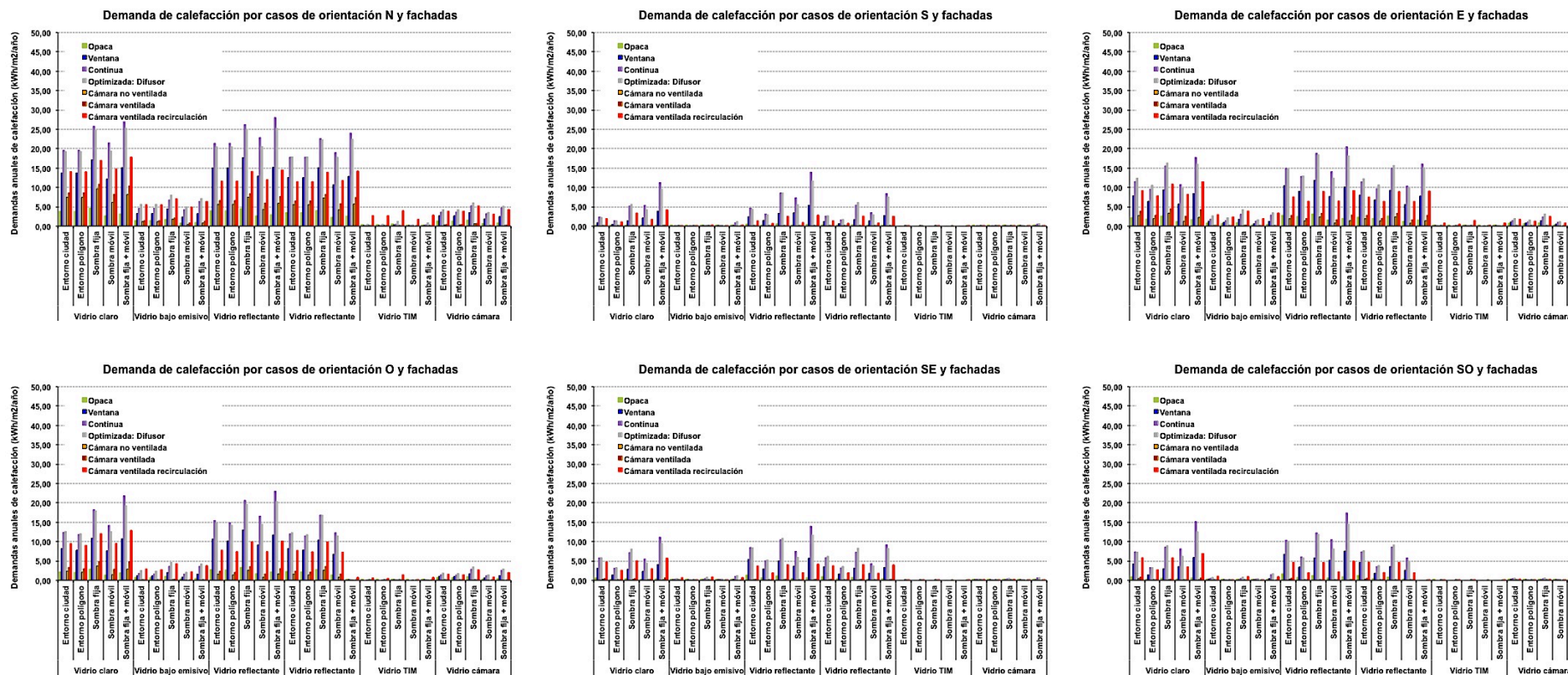


Figura 45. Demandas de calefacción para los casos de análisis del escenario base, según orientaciones. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia, destaca que el orden de magnitud de los valores obtenidos, resulta substancialmente inferior que los de demandas de refrigeración (resultando, de promedio, en una diferencia de un orden de magnitud). Nuevamente, y más allá de los valores concretos, es importante el análisis cruzado para casos según parámetros y orientaciones.

Análogamente al caso del análisis de los resultados de demandas de refrigeración, se cree de interés representar los resultados promedio por orientaciones y fachadas. De esta manera,

Tabla 15. Valores promedio (hueco y sombra) de demandas anuales de calefacción (kWh/m²/año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. | Var. |
|--------------|------------|-------------|-------------|------------|------------|-------------|-------------|--------------|-------------|
| N | 2,1 | 8,1 | 12,8 | 3,5 | 4,2 | 12,6 | 9,0 | 7,5 | 119% |
| E | 1,2 | 4,5 | 7,6 | 0,9 | 1,5 | 7,7 | 5,1 | 4,1 | 20% |
| SE | 0,3 | 1,7 | 3,7 | 0,0 | 0,1 | 3,6 | 1,9 | 1,6 | -52% |
| S | 0,1 | 1,1 | 2,9 | 0,0 | 0,0 | 2,7 | 1,0 | 1,1 | -67% |
| SO | 0,4 | 2,1 | 4,3 | 0,1 | 0,1 | 4,0 | 2,0 | 1,9 | -45% |
| O | 1,2 | 4,9 | 8,1 | 0,9 | 1,4 | 8,0 | 5,2 | 4,3 | 25% |
| Prom. | 0,9 | 3,7 | 6,6 | 0,9 | 1,2 | 6,4 | 4,0 | 3,4 | |
| Var. | | 315% | 635% | 1% | 38% | 617% | 349% | | |

En donde, las variaciones obtenidas entre casos deben considerarse en el marco del orden de magnitud de los valores obtenidos (de magnitudes muy reducidas) y, con ello, objetivar las tendencias observadas con estos indicadores de variación. Ordenando los resultados según los conceptos y parámetros de análisis, se tiene:

- ✓ MAGNITUD. Las demandas de calor resultan en un orden de magnitud muy bajo (en general, aproximadamente la mitad de las demandas resultantes del edificio tipo de oficinas opaco del Plan Energético de Barcelona [PMEB, 2001]), llegando en algunos casos, para determinadas tipologías de edificios orientados a S, a ser nulas. La horquilla de valores es, en valor absoluto, muy acotada fluctuando entre los 0 y los 13kWh/m²/año que, más allá de las variaciones porcentuales, debe considerarse en la lectura del análisis de los resultados.
- ✓ ORIENTACIÓN. Para las demandas de calor, los efectos de la orientación son exactamente los opuestos que los que se dan para las demandas de frío. Esto es, dichas demandas son apreciables para orientaciones N, NE y NO (de promedio 7kWh/m²/año), mientras que a S, SE y SO los valores están siempre cercanos al cero. En las orientaciones E y O, las demandas resultan semejantes, con valores promedio de 4kWh/m²/año.
- ✓ FACHADAS. Contrariamente a lo que ocurre en el caso de las demandas de frío, las fachadas que conllevan asociados un peor comportamiento no son las de doble hoja, sino aquellas soluciones con mayor proporción de vidrio y que no tengan doble piel: es decir, las fachadas denominadas continua y la optimizada con difusor, con valores

promedio de 7 y 6kWh/m²/año respectivamente. Esto es debido a que estas fachadas son las que conducen mejor el calor entre el interior y el exterior, tanto por tener más superficie acristalada, como por no disponer del cojín térmico que supone la doble piel. En sentido opuesto, las fachadas con menos demandas de calor asociadas, son las opacas o las que tienen doble piel, con valores promedio entre 1 y 4kWh/m²/año, con la excepción, en este último caso, de las que recirculan el aire. Ello es debido a que la regulación de estas se considera focalizada a reducir las demandas de frío (resultando en un aumento de las de calor). En todos los casos se sigue una misma distribución de valores según orientaciones, con idénticas tendencias a los valores promedio de estas comentados.

- ✓ **VIDRIOS.** En el caso de las demandas de calor, la variación de comportamientos entre tipologías de vidrios se encuentra en porcentajes entre el 96 y el 100% (en positivo y negativo respectivamente) de diferencia con el promedio de referencia (aunque nuevamente debe considerarse el orden de magnitud de los resultados).

Tabla 16. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de demandas anuales de calefacción (kWh/m²/año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|----------------------------------|------------|-------------|
| Vidrio claro transparente | 6,3 | 86% |
| Vidrio bajo emisivo | 1,2 | -64% |
| Vidrio reflectante ligero | 6,8 | 100% |
| Vidrio reflectante fuerte | 5,1 | 50% |
| Vidrio TIM | 0,1 | -96% |
| Vidrio cámara Argón | 0,8 | -76% |
| Promedio | 3,4 | |

En este caso, las soluciones con vidrios más aislantes (bajos emisivos, vidrios TIM, y con cámara de Argón) tienen unas demandas significativamente más bajas (entre 0 y 1kWh/m²/año) que los vidrios menos aislantes (simples y reflejantes ligeros y fuertes) con valores entre los 5 y los 7kWh/m²/año. Estos efectos, aunque se producen en todas las orientaciones, son significativamente menos pronunciados a S (con unas demandas globales más bajas) que a N (donde se producen las mayores demandas de calefacción).

- ✓ **ELEMENTOS DE SOMBRA.** Aunque las variaciones observadas en este caso son parecidas a las obtenidas del análisis de demandas de refrigeración (con variaciones

de demandas de calefacción entre el -17 y el 23% según casos), las tendencias son de signo opuesto.

Tabla 17. Valores promedio (orientaciones, fachadas y vidrios) de demandas anuales de calefacción (kWh/m²/año) por tipologías de elementos de sombra. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|----------------------------|------------|-------------|
| Entorno ciudad | 3,3 | -4% |
| Entorno polígono | 2,7 | -19% |
| Sombra fija | 4,2 | 23% |
| Sombra móvil | 2,8 | -17% |
| Sombra fija + móvil | 4,0 | 17% |
| Promedio | 3,4 | |

Esto es, los casos en que no existen elementos de sombra (entorno polígono), las demandas de calor son las más bajas, mientras que cuando estos elementos están presentes (sombra fija y sombra fija más móvil), las demandas de calor aumentan. Esta obviedad, debido al efecto favorable de la incidencia de la radiación solar en los momentos más fríos del año, no se produce de forma tan clara en el caso de elementos de sombra móviles puesto que la operación de estos, como ya se dijo, obedece a una optimización de las condiciones lumínicas del edificio y no de las térmicas. Estas tendencias se mantienen de forma invariable independientemente de la orientación, aunque los efectos son más evidentes en orientaciones con mayor incidencia de la radiación solar (S, E, O, SE y SO) que en orientaciones menos expuestas (N, NE y NO).

Análogamente al análisis de las demandas de frío, no se consideran otros análisis cruzados por no aportar esta información relevante, y en pro de focalizar las tendencias resultantes. Aunque es posible determinar las soluciones óptimas (de fachada, vidrio y elemento de sombra) desde la perspectiva de las demandas de calefacción y para el promedio de orientaciones, dado los ordenes de magnitud obtenidos no se considera relevante la información para este caso.

Resultados de demandas energéticas de carga latente

Aunque las demandas de latente se producen tanto en periodos de calefacción como de refrigeración, en el análisis llevado a cabo y para el clima de referencia, estas demandas se producen principalmente cuando existen demandas de refrigeración (es decir, para deshumidificar el ambiente interior de los edificios cuando este supera las condiciones de consigna). De esta forma, se muestran a continuación las gráficas de los valores obtenidos

en donde, nuevamente, se ha dimensionado el eje de ordenadas en una escala (hasta los $60\text{kWh/m}^2/\text{año}$) que permita la diferenciación de casos, y que resulta claramente inferior a la adoptada en la representación de las demandas de frío sensible.

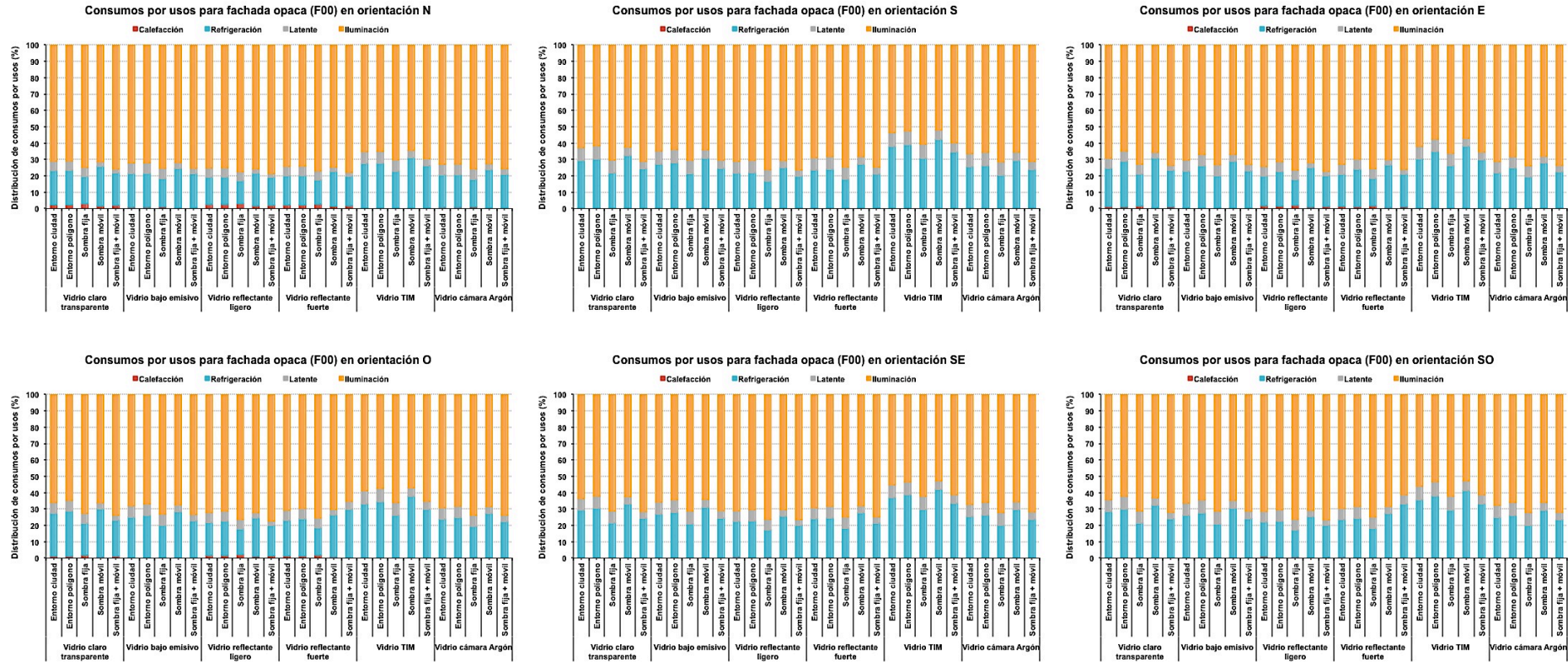


Figura 47. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 00 de referencia del escenario base. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia se puede comprobar una homogeneidad de resultados de distribución de consumos por usos, según las distintas orientaciones de análisis, con una clara predominancia de los consumos de iluminación (69% de promedio), seguidos por los de frío (25%), y más residuales en consumos de carga latente (6%), o casi nulos en calefacción (1%). Los extremos de las horquillas se encuentran en las orientaciones N y S, con variaciones iguales (frío e iluminación) o inferiores (latente y calefacción) al 6%.

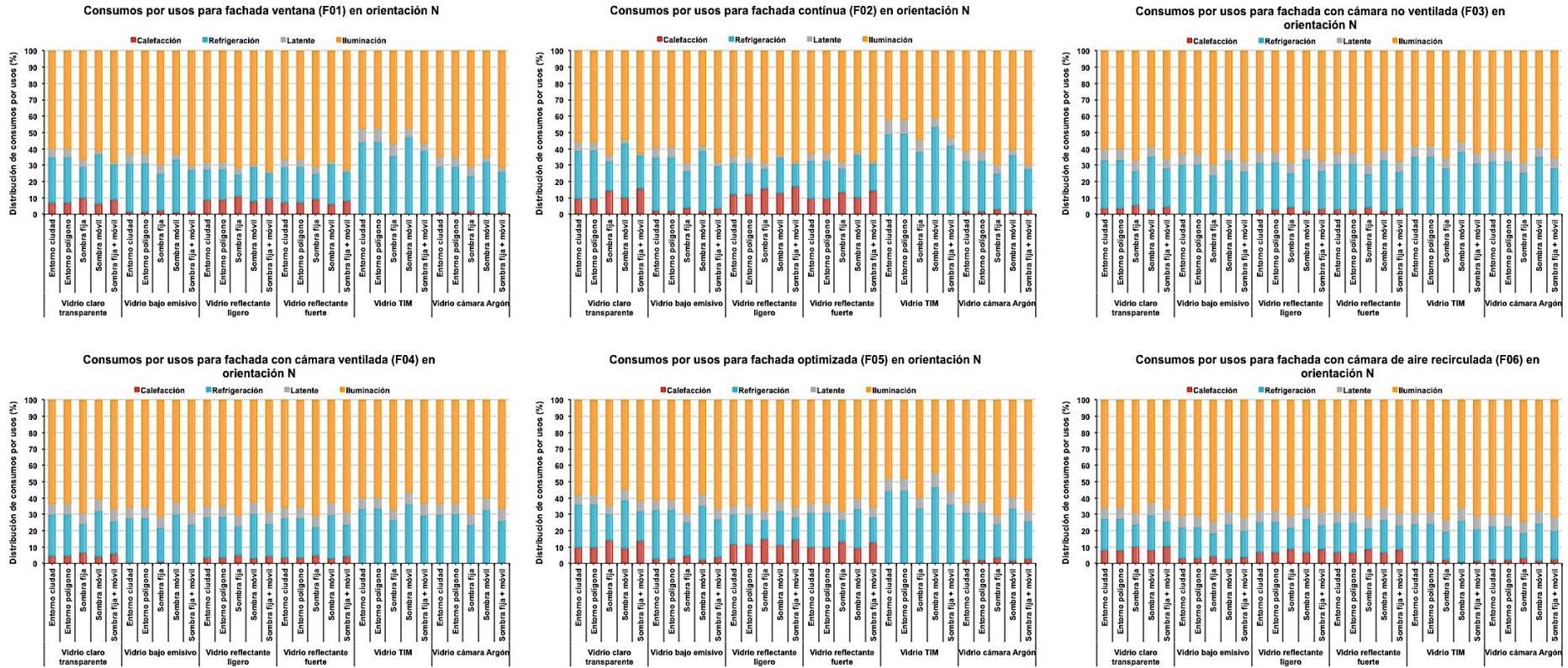


Figura 48. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación N. Fuente: elaboración propia

En donde, para esta orientación N, los consumos de iluminación y frío continúan siendo los predominantes con valores promedio respectivos de 69 y 18%, para el caso de la fachada F06, y de 63 y 29%, para el caso de la fachada F03, que aparecen como los casos extremos. Sin embargo, y a diferencia del caso de referencia, los consumos de calefacción resultan más relevantes siendo, para las fachadas F01, F02 y F05, más importantes que los de las cargas de latente, aunque siempre con valores promedio iguales o inferiores al 7%.

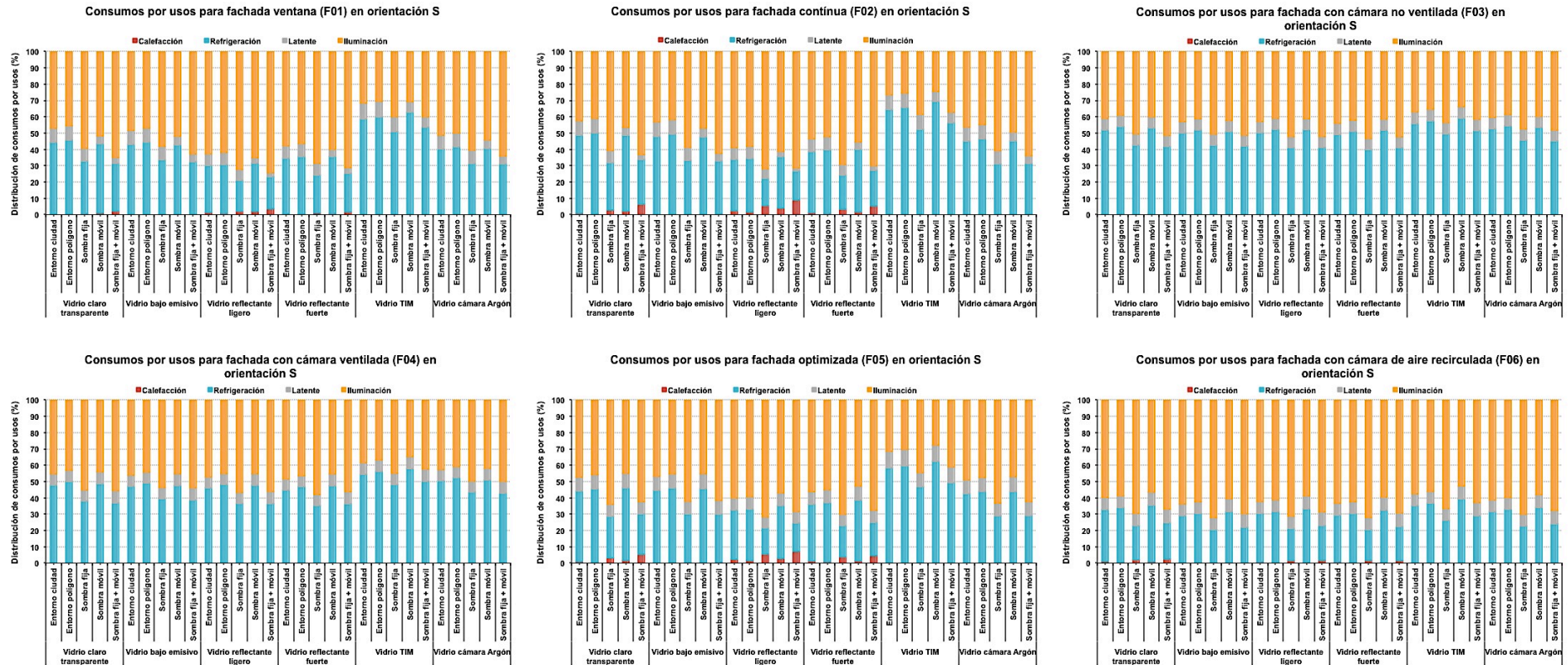


Figura 49. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación S. Fuente: elaboración propia

En donde inicialmente destaca un cambio de tendencia, respecto al caso de referencia, en la distribución de consumos por usos de iluminación y frío. Así, mientras para la fachada de referencia F00 predominaba el consumo de iluminación (con una diferencia promedio respecto al de frío del 40%), en las fachadas F01, F02 y F05 estos consumos se igualan (con diferencias promedio inferiores al 17%), e incluso se igualan (diferencia promedio del 1%) o invierten (diferencia promedio del -5%) para las fachadas F04 y F05 respectivamente. La fachada F06, que se caracteriza por consumos globales del orden de la referencia, mantiene idéntica tendencia que la FA00.

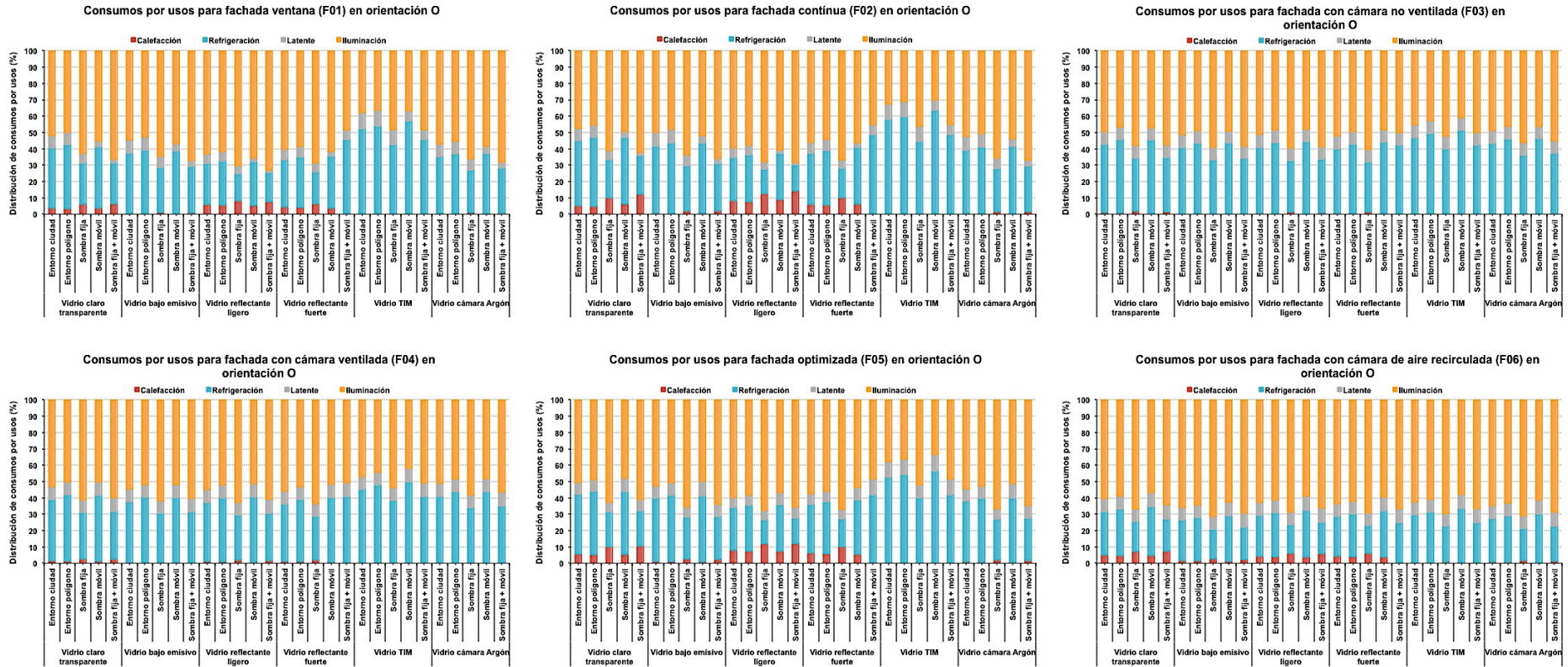


Figura 50. Distribución de consumos por usos para los casos de análisis de la Fachada 01 a 06 del escenario base en orientación O. Fuente: elaboración propia

En donde se reproduce, aunque en menor medida, el mismo efecto observado en la orientación S por el que, los consumos de iluminación y frío tienden a ajustarse más, con diferencias entre ambos del 10 al 24% de promedio para las fachadas F01, F02, F03, F04 y F05 (siendo la diferencia menor para F03 y la mayor para F01). Nuevamente, la excepción a esta tendencia la representa la fachada F06, con una variación entre los consumos predominantes del 39%, muy cercano al 44% del caso de referencia. A excepción de la F03, el resto de soluciones tienen consumos de calefacción aunque residuales e inferiores, siempre, al 4%).

4.2.3. RESULTADOS ESPECÍFICOS EN CONFORT DEL ESCENARIO BASE

Agrupados dentro de un mismo concepto de confort, se analizan las condiciones interiores tanto a nivel térmico como lumínico. Pese que ambos conceptos reflejan el comportamiento del edificio por sí mismo, esto es sin considerar sistemas energéticos, el análisis de los resultados ofrece conclusiones específicas a distintos niveles.

Así, en el caso del confort térmico, el análisis de los resultados obtenidos ofrece tendencias parejas a la evaluación de las demandas energéticas previamente mostradas. Ello es debido a que en el cálculo de los indicadores de confort térmico (PMV y/o PPD), intervienen una serie de variables utilizadas igualmente en el cálculo de demandas (temperatura, humedad relativa), más allá de otras específicas (velocidad del aire, factor de vestimenta, etc.) que, por otra parte, se han considerado iguales para todos los casos de análisis (con el fin de viabilizar la comparativa entre ellos). De esta forma los indicadores de confort térmico, pese a ofrecer unos valores propios y representativos, no muestran interpretaciones distintas a las ya descritas según las variables de interés (orientación, tipo de fachada, tipo de vidrio y elementos de sombra). A pesar de ello, se ha creído interesante mostrar los resultados de este indicador, puesto que se cree que ofrecen una mejor interpretación a actores no habituados a trabajar con parámetros energéticos.

En el caso del confort de iluminación, y dado que para los cálculos de los consumos lumínicos no se ha considerado, para el escenario base, el uso de potencias reguladas por iluminación natural, este indicador permite no solo valorar sus ordenes de magnitud, si no establecer tendencias en base a las variables de interés. Efectivamente, el cálculo de este indicador se realiza considerando una regulación de potencia ideal, que permite valorar las horas en que la iluminación natural resulta insuficiente o excede un límite dado de molestia visual, y con ello ofrece tendencias según los casos de análisis.

Resultados de confort térmico

En base a la metodología establecida en el capítulo 3.2.2, se ha valorado las horas de ocupación en que existe un desconfort térmico, sea por sensación de calor o frío, en condiciones de libre evolución (sin sistemas energéticos). El cálculo se realiza valorando el indicador PMV, e integrando las horas anuales de ocupación en que este valor resulta inferior a -1 (sensación de frío), o superior a +1 (sensación de calor).

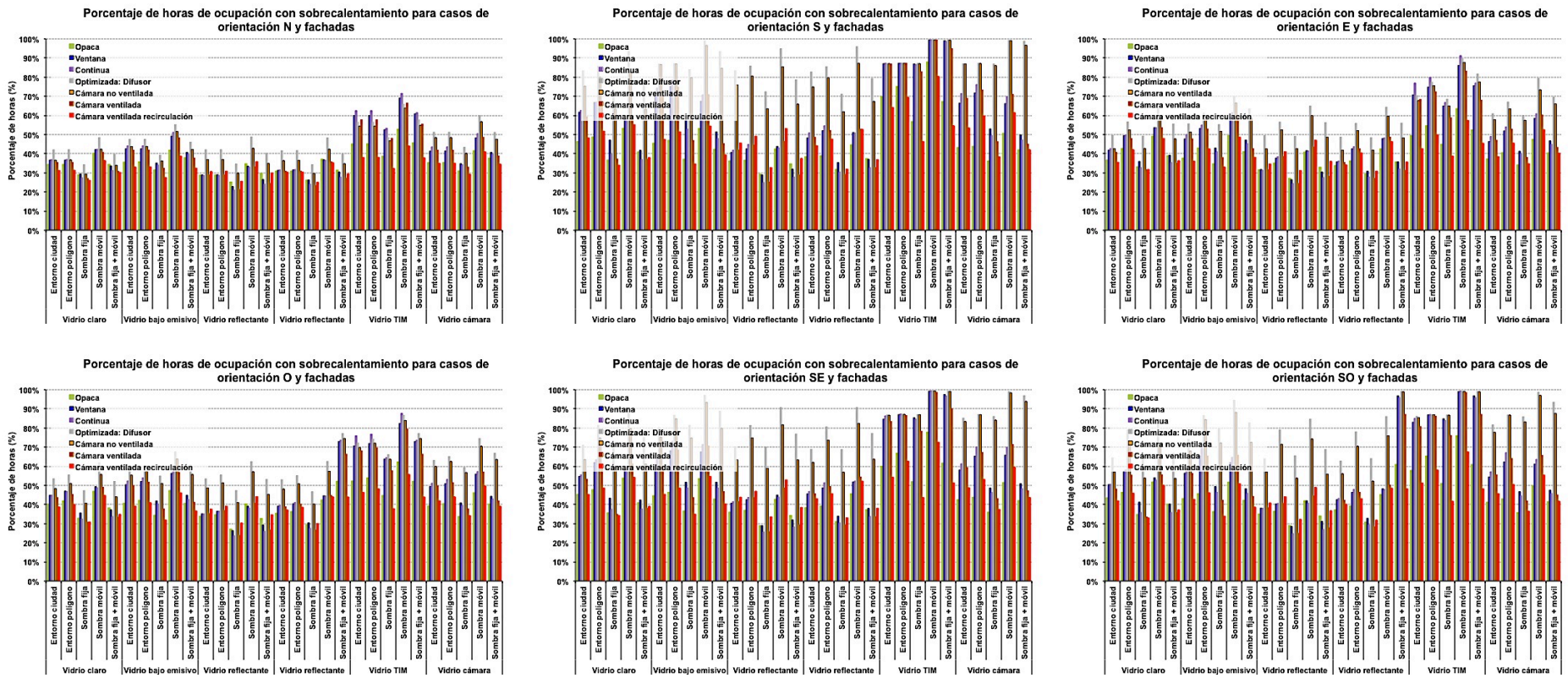


Figura 51. Porcentaje de horas anuales de ocupación en el que se producen sobrecalentamientos, y sensación de calor, según orientaciones para casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde resulta relevante comprobar el elevado número de horas anuales de ocupación en que, sin la asistencia de sistemas energéticos de acondicionamiento, se produce una clara sensación de disconfort por sobrecalentamiento de espacios. Estos valores fluctúan en promedios de entre un 41 y 66% de las horas para las fachadas F00 y F03 respectivamente, y entre un 39 y 63% de las horas para las orientaciones N y S.

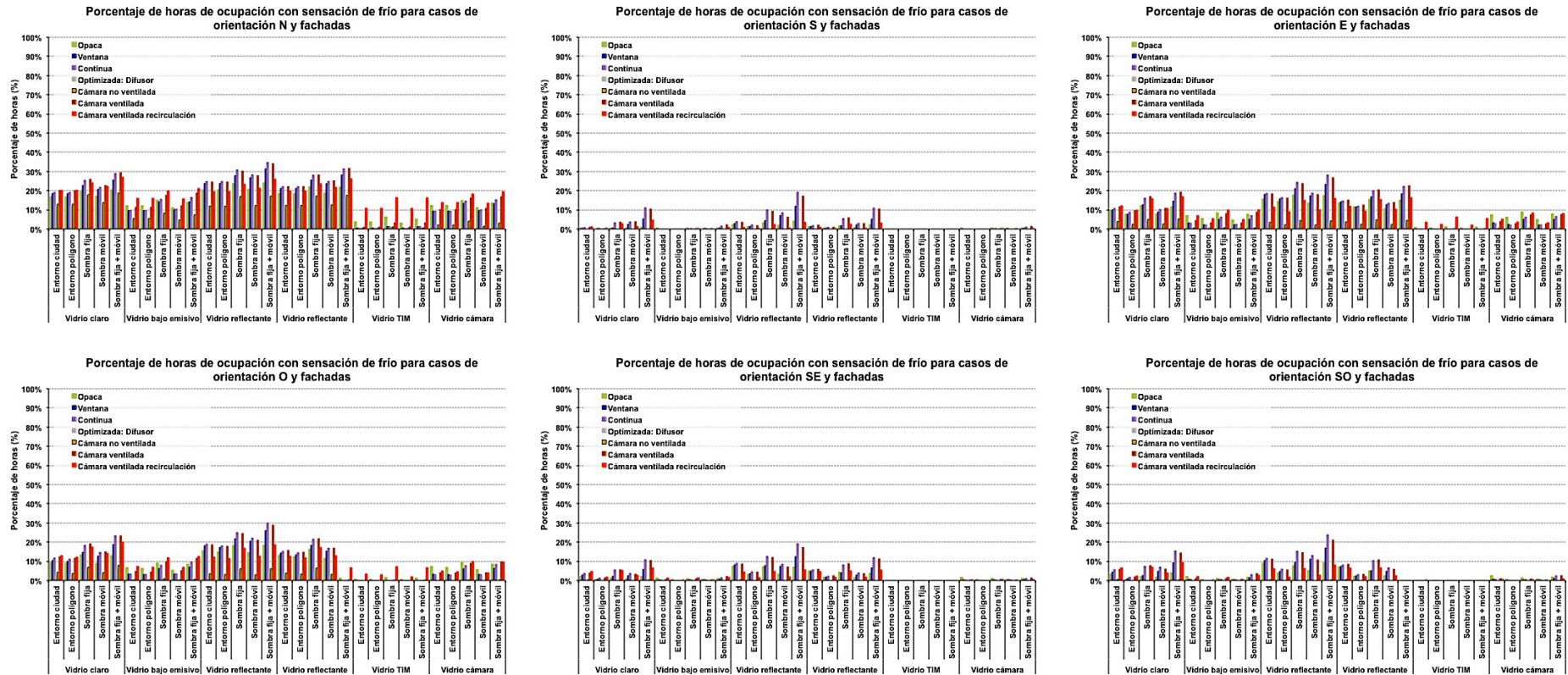


Figura 52. Porcentaje de horas anuales de ocupación en el que se producen sensaciones de frío, según orientaciones para casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde se aprecia como el porcentaje de horas en que se producen sensaciones de frío es claramente más reducido que en el caso anterior de sobrecalentamientos. Los valores, en este caso, varían de promedio entre el 2 y el 8% para las fachadas F03-04 y F02-05 respectivamente. Por orientaciones, las variaciones promedio se sitúan entre el 1 y el 14%, para las orientaciones S y N respectivamente. No se conocen referencias externas de comparación, aunque siendo las tendencias parejas a las variables anteriores de análisis referenciadas, y según el método de cálculo empleadas, se considera que los valores quedan validados, en orden de magnitud, de forma indirecta.

Resultados de confort lumínico

En el caso del confort lumínico, y según lo establecido en el capítulo 3.2.2, la metodología de cálculo permite valorar las horas anuales de ocupación en las que se aprovecha la iluminación natural; esto es, las horas en que la iluminación natural resulta relevante en la aportación de condiciones de trabajo (500lux en plano de trabajo a 80cms de suelo) y no se producen deslumbramientos (considerados, aquí, a partir de 5000lux). La diferencia de las integrales anuales de ambos indicadores en su relación con el total de horas de ocupación de los espacios de estudio, ofrece la variable de análisis utilizada. De esta forma, por ejemplo, un valor del indicador resultante del 60% expresa que ese es el número de horas sobre el total anual de ocupación, en que de forma integrada se puede aprovechar la radiación solar incidente para iluminación, sin que esta sea molesta. Resulta relevante, cara a la interpretación de resultados, valorar el significado del indicador como una horquilla de aprovechamiento que considera, de una sola vez, las horas no computables tanto por baja radiación como por deslumbramientos.

Esta valoración, dependiente de las variables de interés, resulta no solo en la determinación de tendencias según casos de análisis, sino en el potencial de ahorro energético que la instalación de reguladores de potencia en iluminación puede aportar (valorado de forma fehaciente en los análisis posteriores de optimización).

Por otra parte, y como se explica en la metodología de trabajo, el análisis se lleva a cabo a distintas profundidades (o distancias) de fachada debido a la influencia evidente de este parámetro en los resultados. De esta forma se analizan los resultados obtenidos a 2 y 6m de profundidad, de forma consecuente con los parámetros establecidos normativamente. Igualmente, y en el análisis comparado del capítulo 4.2.5, se muestra un valor promedio para toda la zona de análisis, con el fin de facilitar la lectura de resultados y la interpretación de los mismos.

A continuación se muestran los resultados obtenidos de forma gráfica, agrupados por orientaciones según la profundidad de cálculo, y en base a las tipologías de fachadas y el resto de variables de análisis.

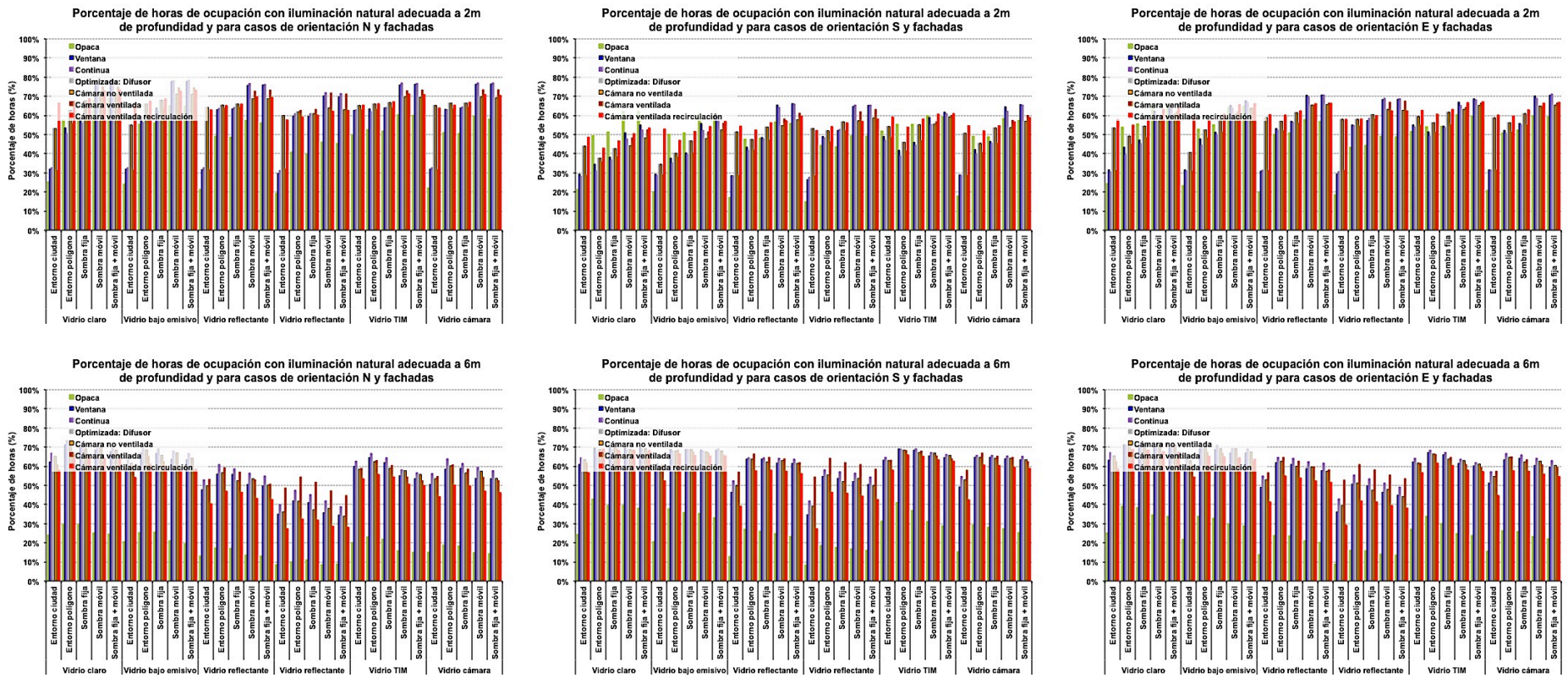


Figura 53. Porcentaje de horas anuales de ocupación de aprovechamiento de la iluminación natural a 2 y 6m de profundidad, para las orientaciones N, S y E y según casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia, se observa un orden de magnitud significativamente elevado, de media por encima del 50% de las horas anuales de ocupación en todos los casos, que denota el potencial de ahorro energético de la aplicación de medidas de optimización (normativas) en la regulación de potencia a distintas profundidades de fachada.

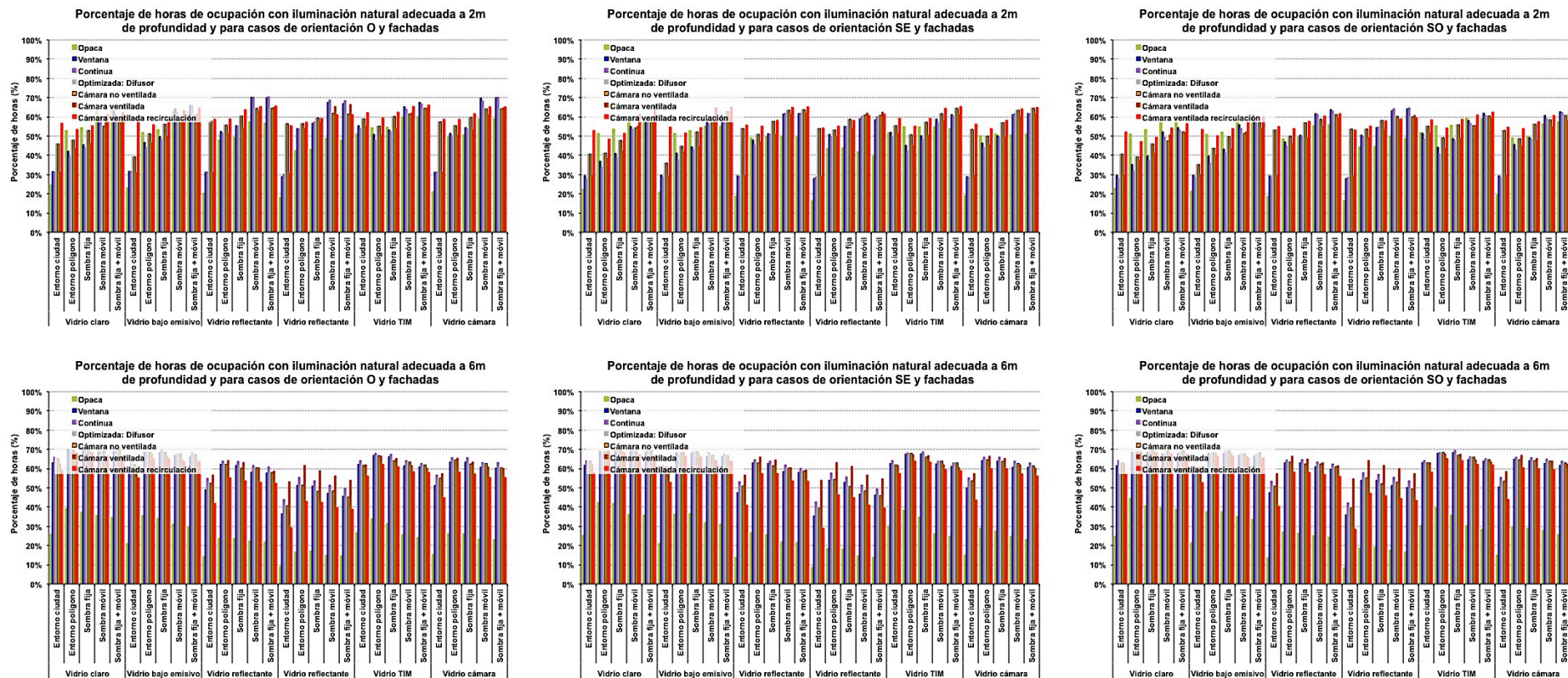


Figura 54. Porcentaje de horas anuales de ocupación de aprovechamiento de la iluminación natural a 2 y 6m de profundidad, para las orientaciones O, SE y SO y según casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde se mantienen ordenes de magnitud semejantes a las orientaciones anteriormente mostradas y, con ello, el potencial de ahorro estimado.

De nuevo, en este caso, se presentan los resultados numéricos principales (valores promedio) del indicador de iluminación natural a 2 y 6m de profundidad, según orientaciones y tipologías de fachadas;

Tabla 26. Valores promedio (hueco y sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N | 49% | 62% | 62% | 66% | 66% | 62% | 67% | 62% |
| E | 50% | 55% | 54% | 59% | 59% | 54% | 62% | 56% |
| SE | 46% | 49% | 48% | 55% | 55% | 49% | 59% | 52% |
| S | 48% | 48% | 47% | 50% | 50% | 46% | 54% | 49% |
| SO | 48% | 49% | 47% | 53% | 53% | 47% | 56% | 50% |
| O | 49% | 54% | 53% | 58% | 58% | 52% | 61% | 55% |
| Prom. | 48% | 53% | 52% | 57% | 57% | 52% | 60% | 54% |

Tabla 27. Valores promedio (hueco y sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. |
|--------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| N | 18% | 56% | 60% | 57% | 57% | 57% | 49% | 50% |
| E | 25% | 60% | 63% | 61% | 61% | 62% | 55% | 55% |
| SE | 26% | 60% | 63% | 61% | 61% | 63% | 56% | 56% |
| S | 28% | 62% | 63% | 62% | 62% | 64% | 57% | 57% |
| SO | 28% | 61% | 63% | 62% | 62% | 64% | 57% | 57% |
| O | 25% | 60% | 63% | 61% | 61% | 62% | 55% | 55% |
| Prom. | 25% | 60% | 63% | 61% | 61% | 62% | 55% | 55% |

En donde, ordenando los resultados según los conceptos y parámetros de análisis, se tiene:

- ✓ MAGNITUD. Los valores promedio globales resultan semejantes independientemente de la profundidad (54 y 55% para 2 y 6m respectivamente), aunque con desviaciones estándar distintas del 4 y 13% respectivamente. Ello se entiende al considerar que el indicador engloba, tanto las horas en que no se alcanzan valores de iluminación natural, como las horas en que se producen deslumbramientos. De esta forma, a menor profundidad, a pesar de existir mayor potencial de aprovechamiento de iluminación natural, también se dan horas de exceso de esta (o deslumbramientos). La combinación de ambos factores resulta en un indicador promedio muy semejante al obtenido a 6m de profundidad en donde, la radiación incidente resulta menor, pero también los casos de deslumbramientos que, en base a la desviación de resultados, tiene un peso menos relevante. Ello resulta más evidente en el análisis posterior por fachadas. Los valores promedio mínimos y máximos, a 2m de profundidad, son del 46 y 67% de las horas (para las fachadas F05

y F06 respectivamente), mientras que a 6m las variaciones resultan más relevantes con valores mínimos y máximos del 18 y 64% de las horas (para las fachadas F01 y F05 respectivamente). En cualquier caso, y como se ha comentado, el orden de magnitud de este indicador muestra el potencial del ahorro energético derivado de la instalación de sistemas de iluminación artificial de potencia regulada por sensor de iluminación. Igualmente destacable la problemática inherente, a ciertos casos y en determinadas profundidades, a los excesos de iluminación natural (que puede condicionar la actividad de los usuarios con los elementos de sombra instalados o soluciones ad-hoc, repercutiendo tanto en los consumos de iluminación como en los térmicos).

- ✓ ORIENTACIÓN. Los efectos mencionados en el punto anterior, destacan más en este análisis según orientaciones. Así, mientras a 2m de profundidad el indicador muestra valores promedio más elevados a N (62%) que a S (49%), para una distancia de 6m los valores promedio se invierten (50% a N y 57% a S) y la horquilla de resultados se reduce casi a la mitad. La explicación de este fenómeno, como se ha comentado, resulta del potencial de incidencia de la radiación solar a distintas profundidades, tanto por exceso como por defecto. Por otra parte, y a 2m de profundidad, la variabilidad de resultados según orientaciones suele ser relevante (sobre el 14% de promedio) a excepción de la F00, en donde se da una evidente uniformidad (variaciones del 2%) independientemente de la orientación. Esta amplitud de resultados por orientaciones, se reduce a más de la mitad (6% de promedio entre máximos y mínimos) cuando se analizan los datos a 6m de profundidad, debido a un mayor equilibrio entre la radiación incidente y la útil.
- ✓ FACHADAS. En el análisis de resultados según tipologías de fachadas se distingue uniformidad de resultados de los casos de análisis, con la excepción de la fachada opaca F00. Efectivamente, a 2m de profundidad las fachadas F01 a F06 muestran valores y comportamientos parejos, con promedios del 55% y amplitudes de resultados por orientaciones similares. Sin embargo, la F00 resulta en un valor promedio más reducido (48%), y una horquilla de variación por orientaciones significativamente más estrecha. De esta forma se constata que el potencial de ahorro en iluminación de la F00 resulta inferior que las otras soluciones más transparentes. Sin embargo, ello se debe considerar en el marco de un comportamiento ideal, en que se supone una gestión óptima en frente a los deslumbramientos (más acuciantes en

las fachadas transparentes). Estas tendencias se muestran más relevantes en el análisis a 6m de profundidad en donde, los valores promedio por fachadas son del 60% de media (para las fachadas F01 a F06) en comparación al 25% de la F00. Además, a esta profundidad, las horquillas de variación por fachada según orientaciones son menores, destacando nuevamente el caso de F00 en la que se observan mayores diferencias (10%) entre la orientación N y S.

✓ **VIDRIOS.** A 2m de profundidad, la variabilidad de resultados promedio según tipologías de soluciones de vidrios resulta menos evidente que para las otras variables de interés (orientaciones y fachadas), con promedios poco variantes de entre el 50% (vidrio claro transparente) y el 58% (vidrio TM). Sin embargo, si que se constata una agrupación de soluciones en base a la amplitud de valores por orientaciones. Así los vidrios claros transparentes y bajo emisivos fluctúan, por orientaciones, en un 18% de promedio (entre valores máximos y mínimos según orientaciones y para las tipologías) , mientras que los reflectantes conllevan asociada una mayor homogeneidad (variaciones promedio del 8% por orientaciones), quedando los TIM y los de cámara de Argón entre medio (12%).

Tabla 28. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia

| | N | E | SE | S | SO | O | Prom. |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Claro transparente | 62% | 53% | 47% | 44% | 45% | 51% | 50% |
| Bajo emisivo | 63% | 54% | 49% | 46% | 47% | 53% | 52% |
| Reflectante ligero | 62% | 57% | 53% | 51% | 52% | 56% | 55% |
| Reflectante fuerte | 57% | 56% | 52% | 52% | 52% | 55% | 54% |
| Vidrio TIM | 66% | 60% | 56% | 54% | 54% | 59% | 58% |
| Cámara Argón | 62% | 57% | 53% | 50% | 51% | 56% | 55% |
| Prom. | 62% | 56% | 52% | 49% | 50% | 55% | 54% |

Tabla 29. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia

| | N | E | SE | S | SO | O | Prom. |
|---------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Claro transparente | 61% | 64% | 63% | 63% | 63% | 63% | 63% |
| Bajo emisivo | 58% | 61% | 61% | 61% | 61% | 61% | 60% |
| Reflectante ligero | 47% | 53% | 53% | 54% | 54% | 53% | 52% |
| Reflectante fuerte | 35% | 42% | 44% | 46% | 46% | 43% | 43% |
| Vidrio TIM | 53% | 58% | 59% | 61% | 61% | 58% | 58% |
| Cámara Argón | 50% | 55% | 55% | 56% | 56% | 55% | 54% |
| Prom. | 50% | 55% | 56% | 57% | 57% | 55% | 55% |

A 2m de profundidad, si bien los vidrios reflectantes son más eficientes en evitar los deslumbramientos, también reducen el aprovechamiento de iluminación natural en orientaciones con menor incidencia de radiación solar directa (N). Caso contrario se produce en los vidrios claros transparentes, validando la importancia de distintas soluciones por orientaciones en un diseño eficiente. Mención a parte merecen los vidrios TIM que, si bien a nivel de comportamiento térmico se han mostrado poco eficientes (por la predominancia de las demandas de frío por encima de las de calor), en el caso del aprovechamiento de la iluminación, consiguen los mejores ratios en aprovechamiento de iluminación natural independientemente de las orientaciones (aunque con variaciones pequeños respecto a las segundas mejores soluciones por orientaciones).

A 6m de profundidad, si que resulta más relevante la diferencia entre soluciones con valores promedio de entre el 43% (reflejante fuerte) y el 63% (claro transparente), muestra de la capacidad de las distintas soluciones de dejar pasar la radiación solar, en una profundidad en donde los deslumbramientos son minoritarios. A esta profundidad la variabilidad de resultados promedio por orientaciones resulta menos relevantes (la mitad que a 2m), aunque se continúa distinguiendo un cierto agrupamiento entre vidrio claros y bajo emisivos (de promedio 2% de variación entre orientaciones), y el resto (con un 8% de promedio). En el caso concreto de los vidrios TIM, a esta profundidad ya no se revelan como la mejor solución, ni en promedio ni para ninguna de las orientaciones en particular.

- ✓ ELEMENTOS DE SOMBRA. Igualmente los elementos de sombra influyen en el confort lumínico, aunque nuevamente de forma más relevante a menor profundidad, a pesar de que los valores promedio totales sean comparables.

Tabla 30. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 2m de profundidad por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia

| | N | E | SE | S | SO | O | Prom. |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Entorno ciudad | 46% | 43% | 39% | 38% | 39% | 42% | 41% |
| Entorno polígono | 61% | 53% | 47% | 44% | 47% | 52% | 51% |
| Sombra fija | 62% | 56% | 52% | 49% | 51% | 55% | 54% |
| Sombra móvil | 70% | 64% | 59% | 56% | 57% | 62% | 61% |
| Sombra fija + móvil | 70% | 65% | 60% | 58% | 59% | 64% | 63% |
| Prom. | 62% | 56% | 52% | 49% | 50% | 55% | 54% |

Tabla 31. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) de indicador de iluminación (porcentaje de horas anuales útiles de iluminación natural) a 6m de profundidad por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia

| | N | E | SE | S | SO | O | Prom. |
|----------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| Entorno ciudad | 48% | 50% | 49% | 49% | 49% | 50% | 49% |
| Entorno polígono | 54% | 59% | 60% | 60% | 60% | 59% | 59% |
| Sombra fija | 52% | 58% | 59% | 59% | 59% | 58% | 58% |
| Sombra móvil | 50% | 56% | 56% | 59% | 58% | 56% | 56% |
| Sombra fija + móvil | 48% | 55% | 55% | 58% | 57% | 55% | 55% |
| Prom. | 50% | 55% | 56% | 57% | 57% | 55% | 55% |

A 2m de profundidad, se observa como claramente existe una diferencia evidente de resultados promedio entre los casos en entorno ciudad (49%), los de polígono y sombra fija (de media el 52%), y los que consideran elementos de sombra móvil (de media el 62%). En el caso del entorno ciudad, y considerando también la menor variabilidad de resultados por orientaciones, es posible interpretar los mismos por la menor incidencia de la radiación solar en zonas inmersas en un entramado urbanístico. En cambio, y a esta profundidad de fachada, las soluciones con sombra móvil favorecen claramente el aprovechamiento de la iluminación natural, invariablemente de las orientaciones. Ello es porque dichas soluciones permiten el paso de la iluminación natural beneficiosa, restringiendo los efectos de deslumbramiento (siempre en una consideración de escenario ideal de su uso).

Nuevamente a 6m de profundidad las soluciones tiene una mayor uniformidad de comportamientos, produciéndose una ligera variación de potencial entre los casos de sombra fija y móvil, básicamente por una reducción del efecto de deslumbramientos a esa distancia de fachada.

De todo lo anterior, se valora la importancia de un análisis a nivel de zona (indicador considerado en el capítulo 4.2.5) que, pese dificultar la interpretación de los resultados, se cree relevante en un análisis más global.

4.2.4. RESULTADOS ESPECÍFICOS EN COSTES ECONÓMICOS DEL ESCENARIO BASE

El análisis de costes, tal como se describe en el capítulo 3.2.2, se lleva a cabo mediante la valoración del indicador de Coste de Vida Útil anualizado (CVUa), equivalente al LCCA, pero sin considerar los costes de demolición y reciclaje. Este indicador depende, más allá de parámetros constantes para todos los casos (tasa de descuento, IPC, etc.), de variables

que pueden ser distintas para las soluciones analizadas. Esto es, los costes de inversión y los costes de operación energética.

Es importante destacar que los costes de inversión se han valorado, en el análisis, en base a los costes de precio de ejecución de la construcción (PEC) de las soluciones arquitectónicas y constructivas que caracterizan a cada uno de los casos. Considerando el módulo de análisis, ello significa que no se repercuten los costes de espacios comunes (pasillos, ascensores, o espacios bajo rasante), ni de equipamientos (incluyendo los sistemas de generación, distribución y emisión de clima o las luminarias), ni del precio del suelo. De esta forma los precios finalmente obtenidos, pese a estar calculados en detalle de ejecutivo, pueden variar ostensiblemente de los precios de mercado, simplemente por tratarse de estimaciones distintas. Igualmente, y en relación a los costes de operación energética, estos consideran los costes directamente atribuibles a consumo de energía, sin entrar a valorar los términos de potencia. Ello se lleva a cabo aplicando un factor de coste de energía (0,116€/kWh) que se considera consecuente con los costes de grandes consumidores.

Finalmente cabe recordar, con el fin de facilitar la lectura de resultados, que se considera un período de vida útil de los edificios de 30 años.

De esta forma, se muestran y valoran a continuación los costes de inversión, los de operación energética y, finalmente, los de vida útil de los distintos casos de análisis.

Costes de inversión

Los costes de inversión dependen, como se ha comentado, única y exclusivamente del coste de los materiales y mano de obra asociado a cada una de las soluciones constructivas que caracterizan los casos de análisis. En última instancia, y de forma evidente, ello significa que resultan independientes de la orientación considerada. Aunque en el capítulo 3.2.1 se ofrece la síntesis de los mismos, se considera relevante mostrar aquí de nuevo los valores, con el fin de facilitar el guión argumental del análisis de los resultados de costes. De esta forma, se muestran los mismos pero agrupados por las tres variables condicionantes (tipo de fachada, tipo de vidrio y elemento de sombra) que permita una fácil comprensión en relación al resto de indicadores analizados.

Tabla 32. Valores promedio (tipos de vidrio y elementos de sombra) de la inversión PEC (€/m²s.útil) por tipos de fachada. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|------------|----------|-----------|
| Fachada 00 | 113,2 | |
| Fachada 01 | 290,0 | 156% |
| Fachada 02 | 287,8 | 154% |
| Fachada 03 | 437,9 | 287% |
| Fachada 04 | 467,3 | 313% |
| Fachada 05 | 297,8 | 163% |
| Fachada 06 | 515,5 | 356% |
| Promedio | 344,2 | |

Tabla 33. Valores promedio de la inversión PEC (€/m²s.útil) por tipos de vidrio (izquierda) y de elementos de sombra (derecha). Fuente: elaboración propia

| | Prom. | Var. | | Prom. | Var. |
|--------------------|-------|------|---------------------|-------|------|
| claro transparente | 321,4 | -7% | Entorno ciudad | 269,7 | -22% |
| bajo emisivo | 331,2 | -4% | Entorno polígono | 269,7 | -22% |
| reflectante ligero | 372,7 | 8% | Sombra fija | 343,7 | 0% |
| reflectante fuerte | 359,0 | 4% | Sombra móvil | 382,0 | 11% |
| Vidrio TIM | 339,7 | -1% | Sombra fija + móvil | 456,0 | 32% |
| cámara Argón | 341,4 | -1% | Promedio | 344,2 | |
| Promedio | 344,2 | | | | |

Que, de forma gráfica, quedan según:

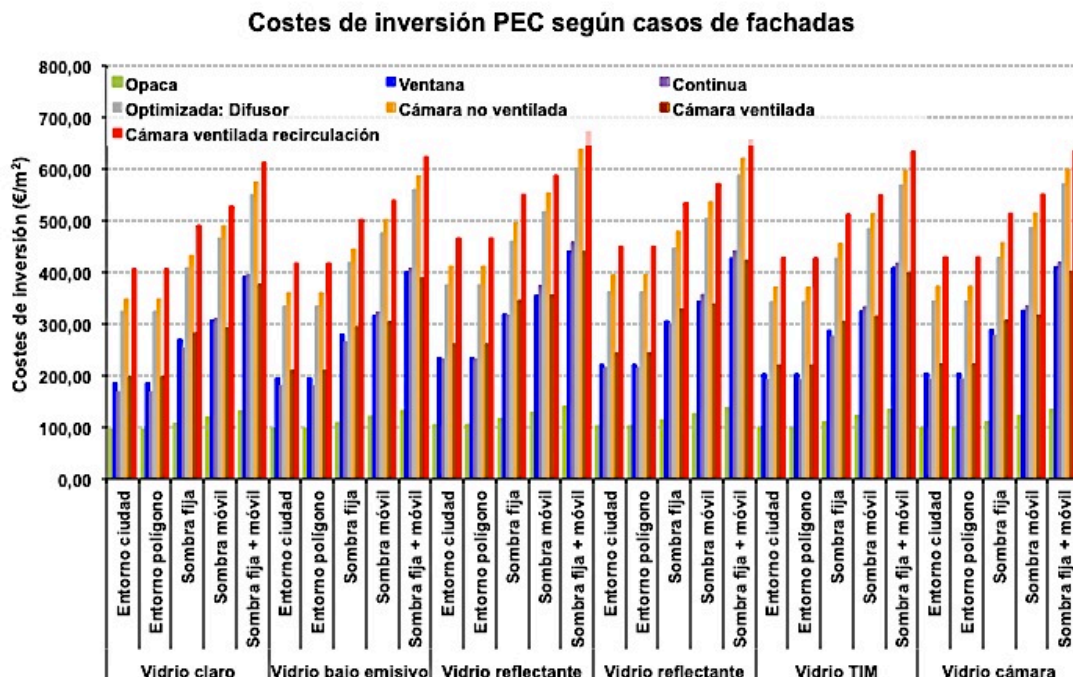


Figura 55. Costes de inversión (PEC por m² de superficie útil) para las distintas soluciones arquitectónicas y constructivas consideradas en los casos de análisis. Fuente: elaboración propia.

En donde, más allá de las valoraciones planteadas en el capítulo 3.2.1 y los detalles de costes mostrados en el Anexo del documento, destaca el peso que tiene la tipología de fachada en comparación a las variaciones de costes obtenidas por tipologías de vidrios o por elementos de sombra. Así, mientras las primeras tienen variaciones de costes, respecto a la fachada opaca de referencia F00, de hasta el 356% (con un promedio superior al 200%), las variaciones según tipo de vidrio solo alcanzan el 8% de media, y por tipologías de elementos de sombra un 32% de promedio. De entre las fachadas destacan las soluciones de doble hoja con cámara de aire (F03 no ventilada, F04 ventilada, y F06 ventilada con recirculación), con costes entre 438 y 515€/m² de superficie útil, de media más de 4 veces el coste de la fachada de referencia.

Costes de operación energética

El otro término variable, en los casos de análisis, de los costes de la vida útil, son los costes de operación energética. Como se ha explicado en anterioridad, estos costes derivan de aplicar a los consumos de energía obtenidos, un ratio de coste de energía. De esta forma, los valores de los costes de operación energética tiene sentido por si mismos y en comparación a los costes de inversión, pero no ofrecen análisis de tendencias nuevos a los ya descritos en los resultados de consumos energéticos. Por ello se muestran los valores tabulados para las principales variables, y su representación gráfica, pero no un análisis de tendencias de los mismos según elementos de análisis.

De esta forma, y para las variables de orientación y tipo de fachada, se tiene:

Tabla 34. Valores promedio (hueco y sombra) de los costes de operación energética (€/m²s.útil/año) según fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. | Var. |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| N | 11,0 | 12,7 | 13,6 | 12,8 | 12,4 | 13,3 | 11,7 | 12,5 | -14% |
| E | 11,5 | 14,0 | 15,2 | 15,3 | 14,6 | 14,7 | 12,4 | 13,9 | -4% |
| SE | 12,0 | 15,3 | 16,7 | 18,0 | 16,9 | 15,9 | 12,8 | 15,4 | 6% |
| S | 12,1 | 15,5 | 16,9 | 18,5 | 17,3 | 16,0 | 12,7 | 15,6 | 7% |
| SO | 12,1 | 15,4 | 16,8 | 17,9 | 16,9 | 16,0 | 12,7 | 15,4 | 6% |
| O | 11,7 | 14,4 | 15,6 | 15,8 | 15,1 | 15,1 | 12,5 | 14,3 | -1% |
| Prom. | 11,7 | 14,6 | 15,8 | 16,4 | 15,5 | 15,2 | 12,5 | 14,5 | |
| Var. | | 24% | 35% | 40% | 32% | 29% | 6% | | |

En donde, más allá de las consideraciones que se puedan derivar por variables de interés, destaca el orden de magnitud de los valores. Nuevamente, resulta complicado obtener referencias externas comparables, puesto que se trata de un tipo de información que las propiedades no suelen externalizar y, en cualquier caso, habitualmente incluye otros

conceptos como los consumos de derivados de los equipamientos y servicios de los edificios. Sin embargo, y habiendo comparado los consumos, se considera que los costes quedan validados indirectamente, al menos en orden de magnitud.

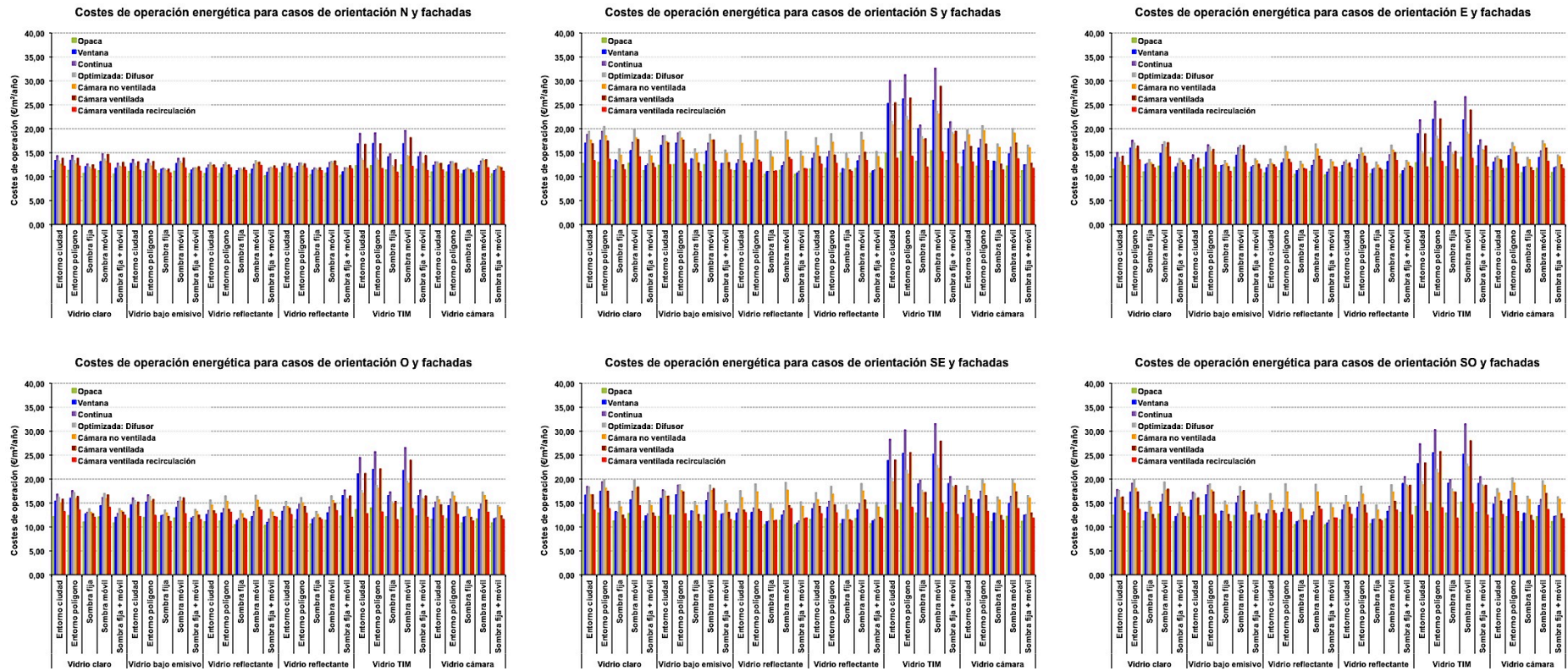


Figura 56. Costes de operación energética (€ por m² de superficie útil) para los casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde, simplemente se valora el orden de magnitud de los costes de operación, según variables de interés.

Costes de ciclo de vida útil

De las dos variables anteriores, además de los parámetros anteriormente establecidos en la definición del Coste de Vida Útil anualizado, se derivan los valores de este indicador para todos los casos de análisis. Pese a que el CVUa resulta de esta relación, en este caso y por relevancia del indicador, se muestran tanto los valores tabulados y sus representaciones gráficas, como las interpretaciones de los mismos en tendencias por variables de interés.

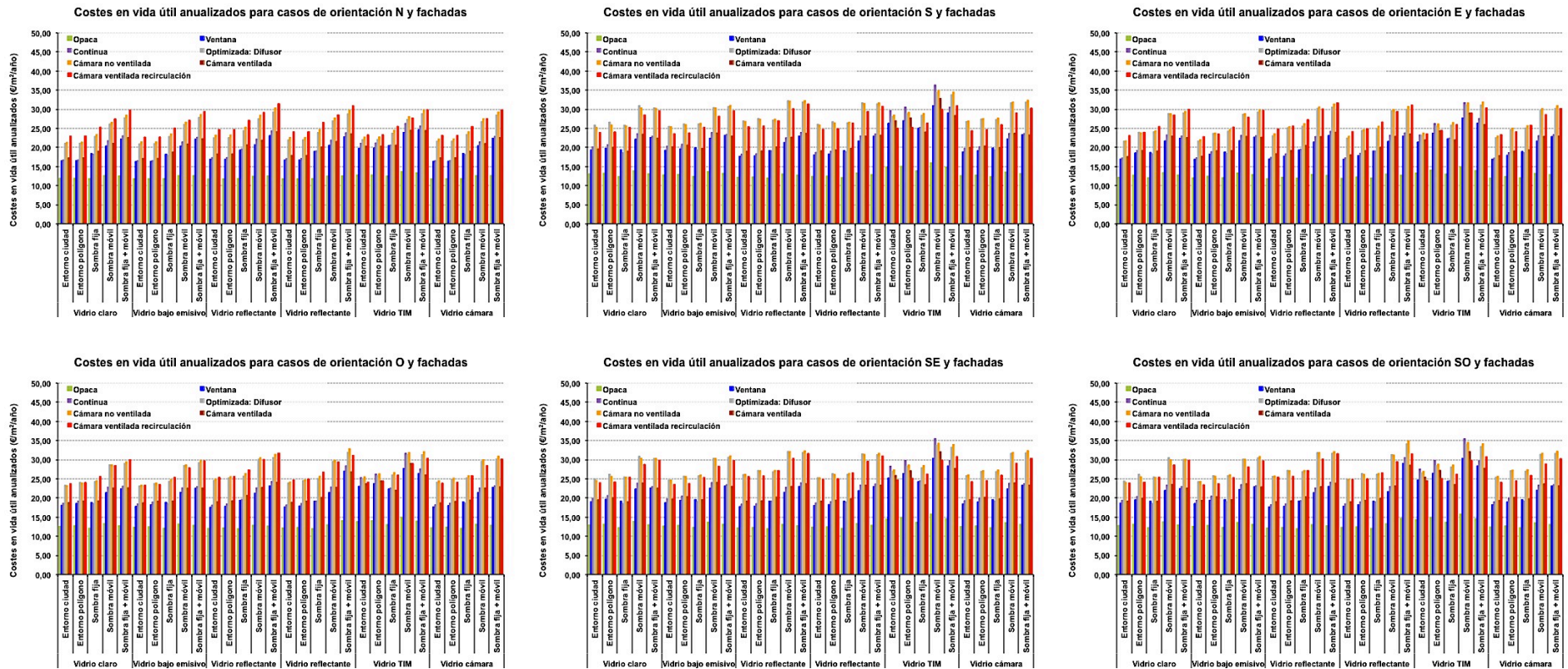


Figura 57. Costes de Vida útil anualizados (€ por m² de superficie útil y año) por orientaciones y fachadas y para los casos de análisis. Fuente: elaboración propia

En donde, más allá de los valores de detalle analizados a continuación, es posible constatar como la principal tendencia corresponde a los costes derivados de las soluciones constructivas (en especial las soluciones de fachadas y elementos de sombra), por encima de los costes de operación energética, que perfilan los valores en cada caso pero sin invertir las tendencias marcadas.

Resulta relevante, en este contexto, analizar de nuevo en detalle los costes CVUa resultantes para todos los casos, desde la vertiente de las distintas variables de interés estudiadas.

Tabla 35. Valores promedio (hueco y sombra) del CVUa (€/m^2 superficie útil/año) según fachadas y orientaciones.
Fuente: elaboración propia

| | F00 | F01 | F02 | F03 | F04 | F05 | F06 | Prom. | Var. |
|--------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|
| N | 12,3 | 19,5 | 20,1 | 24,5 | 25,2 | 20,2 | 26,2 | 21,1 | -7% |
| E | 12,7 | 20,5 | 21,3 | 26,4 | 26,8 | 21,3 | 26,7 | 22,3 | -2% |
| SE | 13,1 | 21,5 | 22,5 | 28,5 | 28,6 | 22,2 | 27,1 | 23,4 | 3% |
| S | 13,2 | 21,7 | 22,7 | 28,9 | 28,9 | 22,3 | 27,0 | 23,5 | 4% |
| SO | 13,1 | 21,6 | 22,6 | 28,5 | 28,6 | 22,3 | 27,0 | 23,4 | 3% |
| O | 12,8 | 20,8 | 21,7 | 26,8 | 27,2 | 21,6 | 26,9 | 22,5 | -1% |
| Prom. | 12,8 | 20,9 | 21,8 | 27,3 | 27,6 | 21,7 | 26,8 | 22,7 | |
| Var. | | 63% | 70% | 112% | 115% | 69% | 109% | | |

En donde, se pueden derivar las siguientes tendencias según variables de interés.

- ✓ MAGNITUD. Con un valor promedio de $23\text{€/m}^2/\text{año}$, se observan valores promedio de entre 12 i $29\text{€/m}^2/\text{año}$, esto es, una variabilidad de más del 136% entre resultados máximos y mínimos de todos los casos. Considerando que este se trata de un indicador con aplicación (pese a los matices descritos) de mercado, y por el tipo de unidad utilizada (m^2 de superficie útil), las variaciones mencionadas se consideran muy relevantes.
- ✓ ORIENTACIÓN. Efectivamente, la orientación tiene un peso poco relevante en la variación de resultados, quedando todos los casos englobados en unos valores promedio de entre 21 y $23\text{€/m}^2/\text{año}$. Ello resulta del peso relevante que tienen las distintas soluciones de fachada, tanto en costes de inversión como, en menor medida, en costes de operación energética. En este contexto, la orientación pasa a un segundo plano pese a que, a nivel de consumos energéticos tenga su relevancia. Un mayor coste de la energía que el considerado o una menor tasa de descuento podrían dar una mayor relevancia a este factor. En cualquier caso, vale la pena destacar como, para las soluciones asociadas a un mayor consumo energético (fachada F03 de doble hoja con cámara ventilada), el peso de la orientación resulta más significativo, con variaciones de CVUa del 18% (entre la orientación N y la S). En cambio, para fachadas con consumos energéticos más ajustados (fachada F00 opaca), estas variaciones se reducen al 7% (para las mismas orientaciones).

- ✓ FACHADAS. De los valores resultantes, se evidencia que el tipo de fachada considerado es el principal condicionante en los CVUa. Así se establecen 3 grupos claros de fachadas en base a rangos de CVUa: la fachada opaca FA00 de referencia se erige como la que tiene asociados unos costes, claramente más reducidos que el resto, de 13€/m²/año de promedio. En segunda instancia se tienen las fachadas ventana (F01), la continua (F02) y la optimizada con difusor (F05), con costes promedio de entre 21 y 22€/m²/año. Finalmente se tienen las soluciones de doble hoja (fachada con cámara sin ventilar F03, con cámara ventilada F04, y con cámara ventilada con recirculación F06), con valores promedio entre 27 y 28€/m². Más allá de las causas de esta clasificación, ya desglosadas en anterioridad, destaca el caso de la Fachada F06 que, con unos consumos energéticos, y por tanto costes de operación, acotados, resulta en unos costes CVUa significativamente elevados. Ello, junto con el comportamiento de la F03, con los mayores costes de operación pero CVUa menos elevados, da una idea de la relevancia de los costes de inversión.
- ✓ VIDRIOS. Las variaciones promedio observadas según tipología de vidrio de los casos de análisis, arrojan unas variaciones poco significativas (del 4%) respecto al promedio, sin considerar el caso específico del vidrio TIM.

Tabla 36. Valores promedio (orientaciones, fachadas y elementos de sombra) del CVUa (€/m² superficie útil/año) por tipologías de vidrios. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|---------------------------|-------------|------------|
| Claro transparente | 21,8 | -4% |
| Bajo emisivo | 21,8 | -4% |
| Reflectante ligero | 22,5 | -1% |
| Reflectante fuerte | 22,4 | -1% |
| Vidrio TIM | 25,4 | 12% |
| Cámara Argón | 22,2 | -2% |
| Prom. | 22,7 | |

Ello deriva tanto de los costes similares de inversión por soluciones, como del peso de este coste en el cálculo del CVUa. Por esto, en el caso de la solución con TIM, el valor si que se distingue claramente del resto de soluciones.

- ✓ ELEMENTOS DE SOMBRA. Finalmente, y para los elementos de sombra, se observan variaciones más significativas en conjunto, de entre el -10 al 12%.

Tabla 37. Valores promedio (orientaciones, fachadas y tipos de vidrio) del CVUa (€/m² superficie útil/año) por elementos de sombra. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Variación |
|----------------------------|-------------|-------------|
| Entorno ciudad | 20,5 | -10% |
| Entorno polígono | 21,2 | -7% |
| Sombra fija | 21,4 | -6% |
| Sombra móvil | 25,0 | 10% |
| Sombra fija + móvil | 25,5 | 12% |
| Prom. | 22,7 | |

En donde destacan las soluciones con elementos de sombra móvil que, pese a tener asociados consumos energéticos (y costes de operación) algo más reducidos resultan en los costes más elevados. También destaca la variación de costes entre los casos de entorno ciudad y polígono que, teniendo asociados idénticos costes de inversión, se diferencian únicamente por los costes de operación energética.

De todo lo anterior, se determina la relevancia de los costes relativos a las soluciones constructivas de tipo de fachada y elemento de sombra, como los principales condicionantes de este indicador.

4.2.5. ANÁLISIS GLOBAL DE VARIABLES DE INTERÉS DEL ESCENARIO BASE

En los apartados precedentes de este capítulo de resultados del escenario base, se han establecido e interpretado los resultados de cada una de las variables de interés, a un nivel de detalle que permitiera desgranar las tendencias existentes de estas en relación a las demandas y consumos energéticos, confortos térmicos y lumínicos, y costes económicos. Sin embargo de dichos análisis, y a pesar del trabajo de síntesis planteado mostrando, por ejemplo, solo los valores integrados anualmente, resulta complejo obtener una radiografía global. Más allá de la relevancia de todos los resultados e interpretaciones mostrados, se cree relevante facilitar una lectura de los indicadores en perspectiva que permita, en primera instancia y de forma intuitiva, valorar comparativamente todos los casos del escenario base. Se trata, de esta manera, de obtener una comparación sencilla de casos, más que desgranar los valores de estos que ya se ha realizado previamente. En este sentido se idea una representación gráfica de los resultados, explicada en el capítulo 3.2.2, que en base a un código de colores referenciado a los valores del indicador, permita valorar todos los casos del escenario base de una sola vez.

Análisis global de demandas y consumos energéticos

En primera instancia, y siguiendo el orden preestablecido previamente, se muestra la representación gráfica de los valores integrados anualmente de demandas de calefacción, frío y latente, según el código de colores mostrado. El código, con escalas ajustadas a cada rango de valores según tipo de demandas, asigna tonos más intensos a los valores más elevados, degradando hasta el blanco para valores más reducidos. Cabe destacar que el código de colores queda referenciado a la propia escala de cada tipo de demandas, lo que significa que tonos más intensos (rojo, azul y verde intenso) no son comparables entre sí, así como no lo son las demandas energéticas en general.

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|-------|---------|------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 00: FACHADA OPACA | Vc | Surb | 3.76 | 42.45 | 11.58 | 2.13 | 48.74 | 12.75 | 0.57 | 67.87 | 18.03 | 0.88 | 62.82 | 16.08 | 2.11 | 57.29 | 14.24 | 0.76 | 42.84 | 11.58 | 2.13 | 48.74 | 12.75 |
| | | Sf | 3.76 | 42.84 | 11.58 | 1.77 | 62.37 | 13.75 | 1.16 | 70.96 | 17.03 | 0.12 | 44.72 | 10.89 | 0.89 | 49.79 | 14.91 | 2.83 | 38.66 | 12.05 | 2.59 | 48.88 | 5.50 |
| | | Sf+m | 2.59 | 48.88 | 5.50 | 1.12 | 66.73 | 7.55 | 0.14 | 76.43 | 10.19 | 0.03 | 75.14 | 11.49 | 0.26 | 73.65 | 10.33 | 1.29 | 64.03 | 7.91 | 3.13 | 37.44 | 4.44 |

| Calefacción | Frio | Latente |
|-------------|-----------|---------|
| >30 | >200 | >30 |
| 20 - 30 | 120 - 200 | 20 - 30 |
| 10 - 20 | 40 - 120 | 10 - 20 |
| 5 - 10 | 20 - 40 | 5 - 10 |
| 0 - 5 | 0 - 20 | 0 - 5 |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 01: VENTANA | Vc | Surb | 13.76 | 67.82 | 12.78 | 6.44 | 118.22 | 17.40 | 1.42 | 146.72 | 22.15 | 0.50 | 144.87 | 27.75 | 1.44 | 136.31 | 29.30 | 7.79 | 113.40 | 21.61 | 12.21 | 67.82 | 12.78 |
| | | Sf | 17.23 | 41.93 | 9.91 | 9.34 | 58.43 | 11.86 | 2.86 | 74.49 | 15.78 | 1.36 | 78.15 | 19.04 | 3.02 | 69.89 | 18.73 | 10.91 | 57.80 | 9.34 | 12.21 | 67.82 | 12.78 |
| | | Sf+m | 12.21 | 67.82 | 12.78 | 5.70 | 106.51 | 8.52 | 2.32 | 124.56 | 11.67 | 2.14 | 118.71 | 13.30 | 3.58 | 112.96 | 12.94 | 7.88 | 97.82 | 3.68 | 17.23 | 41.93 | 9.91 |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 03: CAMARA NO VENTILADA | Vc | Surb | 7.43 | 71.51 | 15.77 | 1.99 | 142.74 | 18.33 | 0.06 | 195.24 | 20.22 | 0.02 | 200.10 | 25.37 | 0.05 | 186.59 | 28.41 | 2.10 | 139.18 | 23.69 | 9.66 | 45.44 | 14.52 |
| | | Sf | 9.66 | 45.44 | 14.52 | 3.38 | 81.92 | 15.03 | 0.20 | 117.32 | 16.10 | 0.06 | 121.97 | 19.50 | 0.12 | 111.30 | 22.23 | 3.74 | 80.94 | 19.39 | 6.13 | 80.41 | 15.08 |
| | | Sf+m | 6.13 | 80.41 | 15.08 | 1.28 | 148.96 | 17.29 | 0.05 | 195.13 | 19.21 | 0.01 | 191.97 | 24.46 | 0.04 | 178.04 | 27.90 | 1.50 | 137.97 | 22.85 | | | |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 02: FACHADA CONTINUA | Vc | Surb | 19.60 | 76.25 | 13.74 | 11.55 | 96.42 | 17.94 | 3.83 | 159.60 | 22.27 | 2.39 | 162.55 | 29.80 | 7.39 | 141.64 | 26.39 | 12.39 | 120.78 | 22.90 | 19.60 | 77.17 | 13.78 |
| | | Sf | 26.81 | 59.17 | 15.97 | 9.54 | 141.88 | 19.09 | 5.14 | 174.78 | 24.33 | 1.43 | 174.78 | 32.29 | 11.82 | 134.41 | 23.64 | 14.11 | 105.83 | 17.81 | 26.81 | 59.17 | 15.97 |
| | | Sf+m | 21.54 | 88.56 | 5.80 | 10.77 | 134.57 | 9.30 | 5.53 | 151.61 | 12.80 | 5.37 | 144.05 | 14.81 | 8.16 | 132.82 | 14.06 | 12.22 | 118.90 | 10.29 | | | |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 04: CAMARA VENTILADA | Vc | Surb | 8.64 | 57.59 | 15.07 | 3.90 | 72.48 | 13.73 | 0.49 | 140.61 | 17.34 | 0.05 | 152.59 | 21.88 | 0.86 | 123.64 | 21.78 | 3.37 | 101.81 | 21.45 | 8.64 | 59.39 | 15.09 |
| | | Sf | 10.68 | 37.14 | 14.33 | 4.52 | 88.25 | 14.50 | 0.12 | 116.52 | 17.81 | 0.28 | 92.51 | 15.88 | 0.11 | 95.52 | 17.81 | 1.28 | 92.51 | 15.88 | 10.68 | 37.14 | 14.33 |
| | | Sf+m | 8.24 | 66.74 | 17.47 | 2.59 | 125.28 | 19.23 | 0.23 | 162.95 | 20.14 | 0.07 | 159.42 | 23.62 | 0.17 | 148.12 | 20.90 | 2.87 | 115.30 | 23.61 | | | |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 05: OPTIMIZACIÓN N LUMÍNICA | Vc | Surb | 19.32 | 63.30 | 14.47 | 12.42 | 81.48 | 15.98 | 5.88 | 130.27 | 20.12 | 2.28 | 132.15 | 25.98 | 3.22 | 116.15 | 28.03 | 12.88 | 104.24 | 20.26 | 19.32 | 63.30 | 14.47 |
| | | Sf | 24.84 | 35.96 | 14.50 | 11.60 | 120.00 | 17.40 | 3.30 | 145.07 | 21.73 | 1.41 | 141.55 | 27.30 | 3.95 | 136.16 | 27.70 | 12.07 | 114.65 | 20.93 | 24.84 | 35.96 | 14.50 |
| | | Sf+m | 19.42 | 77.77 | 17.29 | 9.83 | 130.94 | 20.80 | 4.48 | 156.30 | 24.58 | 4.27 | 142.55 | 28.34 | 6.26 | 140.44 | 30.18 | 12.62 | 115.87 | 24.89 | | | |

| Fachada | Orientación | Tipo de Vidrio | CÓDIGO DE DEMANDAS | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|----------------|--------------------|-------|---------|--------|-------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|-------|-------|-------|
| | | | N | | | E | | | SE | | | S | | | SO | | | O | | | | | |
| | | | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | Calef. | Frio | Latente | | | |
| FACHADA 06: CAMARA VENTILADA CON APROVECHAMIENTO DE AIRE | Vc | Surb | 14.05 | 42.80 | 15.45 | 3.21 | 81.09 | 15.88 | 4.74 | 125.60 | 18.81 | 1.93 | 127.88 | 23.72 | 3.87 | 143.48 | 23.94 | 3.49 | 139.18 | 19.88 | 14.05 | 42.80 | 15.45 |
| | | Sf | 17.00 | 28.18 | 14.47 | 10.87 | 40.39 | 15.03 | 5.09 | 45.58 | 15.06 | 3.41 | 43.29 | 15.85 | 2.85 | 43.50 | 16.64 | 12.09 | 39.47 | 16.26 | 17.00 | 28.18 | 14.47 |
| | | Sf+m | 14.77 | 49.39 | 17.94 | 8.22 | 80.87 | 19.07 | 3.03 | 93.60 | 19.15 | 1.74 | 88.55 | 20.44 | 3.52 | 89.90 | 22.68 | 9.56 | 75.58 | 22.04 | | | |

Figura 58. Representación gráfica de las demandas energéticas agrupadas por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia

En donde, cada uno de los recuadros globales de datos, representa una solución de fachada. La agrupación de filas hace referencia a la solución de tipo de vidrio y, en ellas, cada fila representa un caso distinto de sombreado. En relación a las columnas, los datos se encuentran agrupados por orientaciones, y para cada una de ellas el valor de las distintas variables de demandas (demandas de calefacción, de refrigeración, y de carga latente).

Dada la relación existente entre demandas y consumos, y con el fin de favorecer la interpretación de resultados, se muestra a continuación la representación gráfica de los consumos energéticos por casos, antes de entrar a interpretar los resultados.

| FACHADA DE: | Tipología | N | | | | | | | | | | E | | | | | | | | | | SE | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | SO | | | | | | | | | | O | | | | | | | | | |
|-------------------|-----------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|------|-------|------|-------|-------|--|--|--|--|--|
| | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | | | | | | | | | | |
| | | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | | | | | | | | | | | | | | | |
| FACHADA DE: OPACA | Sub | 2.17 | 20.26 | 3.55 | 10.21 | 36.99 | 1.34 | 23.37 | 6.11 | 10.21 | 41.03 | 0.36 | 30.73 | 7.11 | 10.21 | 48.41 | 0.01 | 34.11 | 8.99 | 10.21 | 53.31 | 0.11 | 31.13 | 8.77 | 10.21 | 50.11 | 1.17 | 25.74 | 7.01 | 10.21 | 44.15 | 0.51 | 32.46 | 6.63 | 10.21 | 49.81 | 0.01 | 34.11 | 8.99 | 10.21 | 53.31 | 0.11 | 31.13 | 8.77 | 10.21 | 50.11 | 1.17 | 25.74 | 7.01 | 10.21 | 44.15 | 0.51 | 32.46 | 6.63 | 10.21 | 49.81 | | | | | |

| FACHADA DE: | Tipología | N | | | | | | | | | | E | | | | | | | | | | SE | | | | | | | | | | S | | | | | | | | | | SO | | | | | | | | | | O | | | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|-------|-------|-------|--------|-------|------|-------|---------|------|-------------|-------|-------|-------|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | Calef. | | Frio | | Latente | | Iluminación | | TOTAL | | | | | | | | | | | |
| | | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | Cal | Frio | Lat | Ilum | Total | | | | | | | | | | |
| FACHADA DE: CÁMARA DE CÁMARA | Sub | 4.69 | 18.36 | 7.55 | 10.21 | 30.81 | 1.75 | 42.85 | 7.55 | 10.21 | 61.36 | 0.16 | 46.36 | 9.14 | 10.21 | 65.71 | 0.01 | 49.78 | 11.78 | 10.21 | 71.77 | 0.01 | 46.36 | 9.14 | 10.21 | 65.71 | 0.01 | 49.78 | 11.78 | 10.21 | 71.77 | 0.01 | 46.36 | 9.14 | 10.21 | 65.71 | 0.01 | 49.78 | 11.78 | 10.21 | 71.77 | 0.01 | 46.36 | 9.14 | 10.21 | 65.71 | 0.01 | 49.78 | 11.78 | 10.21 | 71.77 | | | | | | | | | | |

Figura 59. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia

En donde en este caso, se incluyen no solo los consumos por tipos (calefacción, frío, carga latente e iluminación), sino también la suma de los mismos. Igualmente destacar que el código de colores se adaptó para que, no solo represente el rango consumo a consumo, si no que sea consecuente entre consumos. Esto es, que todas las escalas de los distintos consumos, pero también comparando entre distintos tipos en base a la intensidad de los colores para cada uno de ellos. Igualmente se muestran los valores globales y las desviaciones estándar por tipología de fachada.

Tabla 38. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio e elementos de sombra) de consumo global (kWh/m2/año) según tipología de fachadas. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Desviación estándar |
|--|----------|---------------------|
| F00 – Fachada opaca | 101,51 | 9,61 |
| F01 – Fachada ventana | 125,86 | 29,85 |
| F02 – Fachada continua | 136,61 | 39,80 |
| F03 – Cámara no ventilada | 141,70 | 23,36 |
| F04 – Cámara ventilada | 134,16 | 21,55 |
| F05 – Fachada ventilada con difusor | 131,35 | 30,60 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 107,91 | 8,19 |

De esta forma, se valoran las siguientes consideraciones:

- ✓ En la mayoría de casos, y bajo iguales condiciones de orientación, soluciones de vidrios y sombras, las fachadas opacas F00 son las que tienen asociadas unos valores de consumos inferiores, correspondientes a colores más suaves (recuadro de la parte superior izquierda). Numéricamente el consumo promedio para todos los casos de esta F00 es de 102kWh/m²/año, inferior al resto de casos y con una desviación estándar acotada que conlleva una regularidad con independencia del resto de variables.
- ✓ También se da una coloración más suave en los casos de la fachada ventilada con recirculación de aire F06. Ello indica que esta solución es la que, comparativamente, tiene un comportamiento energético de operación más semejante al de la fachada de referencia F00 y, por tanto, resulta en la solución transparente más óptima en consumos energéticos. Esto se valora cuantitativamente con un valor promedio de consumos globales de 108kWh/m²/año de un orden de magnitud semejante. También en este caso la desviación estándar es proporcionalmente acotada, indicando nuevamente menor vulnerabilidad a las condiciones de contorno.
- ✓ El resto de fachadas de doble hoja (F04 ventilada y F03 con cámara no ventilada) junto con el muro cortina (F02) se erigen como las que tienen asociados consumos energéticos globales mayores, aunque el resto de tipologías (F01 tipo ventana, y F05 optimizada con difusor) las sigan de cerca. Más allá de los elevados consumos promedio, todas estas fachadas destacan por unas desviaciones estándar relativamente elevadas (de 22 a 40kWh/m²/año), y claramente superiores a las obtenidas por el caso de referencia F00 y la fachada ventilada con recirculación F06. Ello implica que estas soluciones quedan más condicionadas a las condiciones ambientales y que, en su diseño se debería prestar mayor atención cuando el objetivo sea la reducción de consumos.
- ✓ Comparativamente, los valores de consumos de frío e iluminación son substancialmente más elevados (colores más intensos) que los de calefacción y latente (colores más suaves). Sin embargo, destacar que la coloración del consumo de iluminación se mantiene uniforme, debido a que todos los casos del escenario 0 se han calculado en base a unas condiciones de potencia y operación constantes.
- ✓ Exceptuando las fachadas opaca (F00) y con cámara de aire ventilada y recirculación (F06), a las orientaciones S, SE y SW les corresponden las demandas

de frío y carga latente más elevadas (colores más intensos) que no quedarían compensadas con la reducción de los correspondientes consumos de calefacción (de mucha menor intensidad).

- ✓ En todos los casos, las soluciones con vidrios TIM resultan en unos consumos de refrigeración sensible y de carga latente substancialmente más elevados que no compensan en la reducción de los consumos de calefacción.
- ✓ Para las fachadas con menores consumos totales asociados (especialmente en la F00), el efecto de los elementos de sombra resulta más significativo (con mayor variabilidad de intensidades de color) que en las más consumidoras (color con tono más constante).

Como resumen de los resultados, tanto los observados de forma cualitativa mediante variaciones en intensidad cromática como los cuantitativos, y más allá de los detalles establecidos caso a caso, resulta evidente considerar la fachada opaca de referencia (F00) como la que tiene un menor consumo energético asociado, seguida de la fachada de doble hoja con cámara de aire con recirculación (F06). En ambos casos, además, la dispersión de resultados resulta, en comparación al resto de fachadas, reducida; ello comporta que estas dos tipologías se comportan, comparativamente, mejor frente a condiciones ambientales y variaciones en las variables de diseño.

Igualmente destaca que, del promedio de orientaciones y para las fachadas de piel simple (F00, F01, F02 y F05), las soluciones de vidrios reflejantes ligeros, y en segunda instancia los reflejantes especulares, resultan en los consumos más reducidos. Sin embargo, y para el caso las de fachadas de doble hoja F03, F04 y F06, no se observa una predominancia en solución de vidrio que, dicho de otra forma, implica que ninguna de las soluciones comprobadas es capaz de reducir, significativamente, los sobrecalentamientos y consumos de refrigeración.

En este último sentido, son los elementos de sombra (fijos y fijos más móviles) los que permiten reducir los consumos de forma homogénea para la mayoría de los casos de todas las fachadas. Ello resulta más evidente en las soluciones con mayor proporción de huecos (todas excepto las de F00), y para las orientaciones más expuestas, esto es, para Sur, Sureste y Suroeste.

Se debe considerar la relevancia de estos resultados no solo en el marco del estudio presentado, sino en un contexto normativo que, actualmente ya limita los consumos

energéticos de forma relativa (en comparación con valores de referencia), pero que en un futuro cercano lo hará en valores absolutos.

Análisis global de confort lumínico y térmico

De forma análoga a lo mostrado para las demandas y consumos energéticos, se muestra a continuación la representación gráfica de los indicadores de confort térmico y lumínico de todos los casos del escenario base.

| CÓDIGO DE CONFORT | | | |
|-------------------------|-------|-------------|-------------|
| Color | Frio | Temperatura | Iluminación |
| Porcentaje de horas (%) | | | |
| 50-80 | 50-80 | 5-20 | |
| 20-50 | 20-50 | 20-50 | |
| 5-20 | 5-20 | 50-80 | |
| 0-5 | 0-5 | >80 | |

Figura 60. Representación gráfica de los confort térmicos y lumínicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario base. Fuente: elaboración propia

En donde las variables representadas en las cinco columnas por orientación, corresponden, por orden de izquierda a derecha, a los índices de desconfort por sensación de calor, de frío, y de mala iluminación a 2, a 6m y global de zona. Cabe destacar que, en el caso de los indicadores de confort térmico, la escala de colores resulta coherente, en rangos, entre ambos casos. Es decir, los rangos, e intensidades de colores, que agrupan las integrales de horas fuera de confort son los mismos, tanto para calor, como para frío. Por el contrario, en el caso de los indicadores de confort lumínico, aunque los rangos son los mismos, se ha invertido la escala. El indicador de confort térmico se define de manera que, valores más altos corresponden a un mejor aprovechamiento de la luz natural, mientras que valores bajos indican una necesidad mayor de iluminación artificial.

En el caso de los indicadores de confort térmico, las tendencias observadas con análogas a las de las demandas térmicas (y, entonces, a los consumos térmicos). Ello es debido a que, tal como se ha explicado, entre las demandas térmicas y los indicadores de confort térmico existe una relación de proporcionalidad, en base a las hipótesis de trabajo establecidas. No es el caso de los indicadores de confort lumínico; Así como el cálculo de los consumos lumínicos de los distintos casos del escenario base se realiza bajo la premisa del uso de elementos de iluminación artificial de potencia constante, el indicador de confort lumínico no considera el uso de iluminación artificial, y valora el “aprovechamiento” real de la iluminación natural. Por ello, este indicador es de especial relevancia en este análisis de los casos del escenario base.

De esta forma, se valoran las siguientes consideraciones:

- ✓ Las valoraciones en relación a los confortos térmicos, se mantienen de forma equivalente a las demandas y consumos térmicos. Esto es, se valoran las fachadas F00 y F06 como las mejores alternativas, mientras que el resto de fachadas de doble hoja son las que copan los peores comportamientos. El resto de soluciones, quedan en una posición intermedia.
- ✓ En el caso de la fachada opaca F00 es posible comprobar como a nivel lumínico, más allá de un comportamiento global peor, comparativamente con el resto de soluciones, existe un efecto de profundidad de fachada; para la mayoría de los casos de análisis, el indicador de confort lumínico a 6 metros es claramente peor que a 2 metros. Este es un claro indicador de falta de luz natural.
- ✓ Por el contrario, y para el resto de soluciones de fachada, a pesar que los valores globales son claramente mejores, los peores ratios de iluminación se producen a una profundidad de 2 metros, mejorando a 6 metros. En este caso, el indicador refleja la problemática de deslumbramientos para estas tipologías de fachadas.
- ✓ También resulta destacable que, en líneas generales, los resultados del indicador de confort lumínico resultan relativamente independientes de las orientaciones de análisis en el caso de la fachada opaca. Por el contrario, para el resto de fachadas se observa un mejor comportamiento en orientaciones más protegidas (N) que en las más expuestas (S). Ello se debe también, al efecto de los deslumbramientos más pronunciado en fachadas más abiertas.
- ✓ Finalmente, no se observan grandes tendencias relacionadas con el indicador de iluminación en relación a las tipologías de vidrios y de elementos de sombra. Sorprende especialmente, en este sentido, la uniformidad de comportamiento de las soluciones con vidrios TIM. Aunque estos ofrecen unos resultados claramente peores en comportamiento térmico respecto al resto, a nivel lumínico no ofrecen un resultado mejor que los otros.

De esta forma, en líneas generales se observa como, más allá de las tendencias a nivel de confort térmico, coincidentes con las observadas para demandas o consumos de este tipo, a nivel lumínico la fachada opaca F00 adolece de una falta de iluminación natural, más evidente a mayor profundidad. Por el contrario, el resto de soluciones analizadas, resultan en comportamientos lumínicos mejores, aunque con problemáticas de deslumbramientos en las inmediaciones de la piel del edificio.

Tabla 39. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil anualizados (€/m²/año) y de inversión (€/m²) según tipología de fachadas. Fuente: elaboración propia

| | CVUa | | Cinv | |
|---|----------|---------------------|----------|---------------------|
| | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar |
| F00 – Fachada opaca | 12,85 | 0,86 | 113,18 | 14,03 |
| F01 – Fachada ventana | 20,92 | 3,12 | 290,03 | 79,59 |
| F02 – Fachada continua | 21,79 | 3,88 | 287,79 | 89,09 |
| F03 – Cámara no ventilada | 27,26 | 3,23 | 437,88 | 88,23 |
| F04 – Cámara ventilada | 27,57 | 3,26 | 467,32 | 89,09 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 21,67 | 3,00 | 297,82 | 70,28 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 26,83 | 2,62 | 515,54 | 80,46 |

Del análisis de las distintas casuísticas, destacan:

- ✓ En primera instancia se distingue con claridad como los distintos casos correspondientes a la fachada F00, tiene las tonalidades más suaves, correspondientes a los menores costes globales. En valores, los resultados promedio de todos los casos de esta F00 son del orden de 13€/m²/año, entre aproximadamente un 40 a 53% inferiores a los promedios de las otras fachadas. Por su parte, la desviación estándar de resultados también aparece más acotada que en el resto de casos, lo que da idea de la homogeneidad de resultados para esta fachada. Considerando la proporcionalidad entre consumos energéticos y la parte de costes relacionados con la operación de los edificios, resulta relevante valorar los costes de inversión; nuevamente los valores promedio son claramente inferiores al resto de casos de las otras fachadas, con costes de entre un 60 a 80% más económicos.
- ✓ Por otra parte, y al contrario que en los análisis de consumos energéticos, destaca que los casos de fachada con cámara ventilada con recirculación F06 pasan a ocupar tonalidades más intensas, del mismo orden que el resto de soluciones de doble piel. Efectivamente, al considerar los valores promedio de coste de vida útil de todos los casos de esta fachada, el coste promedio es de 27€/m²/año, situándose en el mismo nivel de los casos de las fachadas F03 y F04. Igualmente también se comprueba como la desviación estándar aumenta significativamente en comparación a los análisis de consumos. En base a los resultados de consumos, en los que esta fachada se equiparaba a la de referencia F00, y la proporcionalidad entre estos y los costes de operación, el factor clave por el que los costes globales aumentan hasta los peores

ratios son los costes de inversión; estos alcanzan, para los casos de la F06, los valores más elevados, casi 5 veces superiores a la referencia F00.

- ✓ Del nivel de intensidad de tonalidades y de los valores promedio de los casos por fachadas, destaca que todas las soluciones de doble piel, F03, F04 y F06, copan los costes de vida útil anualizados más elevados. En todos los casos se trata de las soluciones con mayores costes promedio de inversión, a lo que sumar, en el caso de las soluciones F03 y F04, los elevados costes de operación.
- ✓ Las fachadas más transparentes pero con soluciones de una sola hoja, F01, F02 y F05, se erigen igualmente como soluciones con costes comparativamente elevados, que sin llegar a los rangos de las dobles pieles, se acercan significativamente a estos. Nuevamente se trata de una combinación de los costes asociados a la inversión, con valores claramente menores que las dobles pieles aunque claramente superiores a la referencia F00, y los costes derivados de la operación. Nuevamente las desviaciones estándar de los resultados promedio son claramente más elevadas que en la referencia, tanto en los costes de vida útil como en los de inversión. Nuevamente ello implica una mayor sensibilidad a las condiciones ambientales, pero también a las soluciones específicas de diseño (en relación a la inversión).
- ✓ En general, se puede constatar que, en los casos en que el orden de inversión es menor, el orden de magnitud de los costes operacionales (derivados de los consumos energéticos) es similar a los del ciclo de vida anualizados, mientras que para los casos de las fachadas de doble hoja, los costes de vida anualizados duplican, en promedio, a los costes operacionales. Cabe destacar que, en este efecto, no se considera los sobrecostes que pudieran existir por la construcción de estructuras más complejas, si no los costes habituales de cálculo del PEM.

De esta forma, del análisis de costes es posible constatar como mientras se conserva la tendencia observada en otros indicadores de menor impacto de las fachadas del tipo F00, en el caso de las F06 estas pasan a ocupar peores posiciones. En el resto de fachadas se mantienen tendencias parejas a las observadas en otros indicadores.

En relación a los otros parámetros de definición de los casos, y considerando el promedio de las orientaciones, se observa como en los costes no existe una predominancia de solución óptima en base a las tipologías de vidrios. En todos los casos las variaciones en inversión que supone el uso de distintas soluciones de vidrios son comparativamente reducidas, sobretudo en base a la vida útil estipulada, y las variaciones de costes de la

energía resultan mínimas, por lo que se obtiene una homogeneización de resultados (respecto al caso de consumos). Sin embargo, para el caso de elementos de sombra, si que existe una predominancia de costes más reducidos para soluciones con sombras fijas. Los elementos de sombra si que resultan en unos costes más elevados que, combinándolos con los consumos energéticos, resultan en la mencionada predominancia.

Las variaciones entre estas tendencias en costes en relación a las observadas en consumos resultan importantes si se tiene en consideración los intereses de los inversores (promotores) y constructores, y las tendencias normativas. Mientras que los primeros suelen considerar los costes como variable prioritaria, las normativas (actuales y futuras) descansan sobre las valoraciones de consumos.

CAPÍTULO 4.3. RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS

En las fases de trabajo F.3.1. y F.3.2., se definen y calculan los denominados escenarios optimizados que pretenden valorar el efecto de sistemas domóticos que regulen los elementos de sombra, entendiendo que estos tienen, bien operados, una influencia elevada en el comportamiento energético de edificios de oficinas con elevadas proporciones de hueco. Los distintos escenarios planteados combinan, igualmente, el uso de elementos de regulación de potencia de iluminación por aprovechamiento de la luz natural. El objetivo no es tanto comprobar los límites de los distintos casos originales, si no determinar si, bajo condiciones de operación y diseño distintas se mantienen o cambian las tendencias observadas en el escenario base.

Considerando tanto el objetivo del análisis, los resultados obtenidos para el escenario base, y un equilibrio entre recursos y fiabilidad de resultados, los escenarios optimizados se analizan para un número más reducido de casos que los establecidos en el escenario base. De esta forma, y bajo la premisa de máxima representatividad y valores extremos obtenidos en el escenario base, se seleccionan un total de 108 casos que quedan determinados por,

- ✓ Fachadas. Todas las del escenario original
- ✓ Ventanas. Vidrios de tipo claro transparente, tipo baja emisividad y tipo reflejante ligera.
- ✓ Sombras. Entorno polígono, sombras móviles y combinación de móviles y fijas, aunque operadas según las nuevas premisas de uso de elementos domóticos.

✓ Orientaciones. Norte y Sur.

El estudio de los resultados obtenidos se lleva a cabo de forma paralela a los del escenario original, tanto en metodología de cálculo como en análisis de indicadores, de forma que los resultados resulten comparables.

Nuevamente, y considerando de nuevo los objetivos, los resultados de estos se presentan en formato de datos globales para consumo energético y costes económicos. Por una parte, el nuevo dimensionado de casos de análisis permite una lectura más detallada de los resultados globales, equivalente a los formatos específicos presentados para los casos del escenario base. Por otra parte, y considerando que en escenarios optimizados existe regulación de la iluminación, el análisis de los resultados de consumo y costes engloba, ahora sí, la información de los resultados de demandas y de confort.

En relación a esto último, cabe destacar que los resultados de confort térmico quedan proporcionalmente relacionados con las variables que determinan las demandas y consumos térmicos. Los indicadores usados para la determinación del confort térmico, PPD y PMV, dependen de una serie de parámetros que, pudiendo ser variables para distintas casuísticas, se han fijado en unos mismos valores para todas las simulaciones de los distintos escenarios. El resto de variables libres que definen a estos indicadores, son las mismas que definen los consumos energéticos. Por su parte, el indicador de confort lumínico utilizado es, en parte, proporcional al consumo de iluminación artificial, por lo que al existir elementos de regulación de potencia de esta en los denominados escenarios optimizados, ambas variables resultan proporcionales. La variabilidad, en intensidad de tendencias, que pueda existir entre el consumo por iluminación y el confort lumínico se debe a que este último incluye el factor de horas de deslumbramiento. Sin embargo, y dadas las características de los escenarios optimizados, no se considera que este elemento sea determinante en tendencias, más allá de los valores concretos obtenidos.

En todos los casos, se adaptan las visualizaciones gráficas a los casos de análisis de estos escenarios de optimización. Ello incluye que en algunas de las representaciones, pese a mantener el mismo código de colores, se modifica la escala con el fin de poder contrastar los distintos resultados de forma fácil. Este es un resultado directo, pues deriva de una reducción de los valores comparativamente a los mismos casos del escenario base.

Finalmente cabe remarcar que en los escenarios de optimización, no se ha considerado en ningún caso sobre coste económico en inversión. Ello comporta de forma fehaciente que no

se valoran económicamente los elementos domóticos considerados. Las premisas consideradas para justificar esta hipótesis son:

- ✓ Se considera que los costes de los sensores de iluminación natural resultan residuales, tanto en valor absoluto como en comparación con el resto de costes de inversión, en un mercado en el que se ha estandarizado su uso, en parte por su obligatoriedad normativa desde 2007. De esta forma se considera que ello no supone ninguna diferencia apreciable entre los escenarios que presuponen su uso (optimización lumínica y lumínico-térmica) y los que no (base y optimización térmica),
- ✓ En el caso de los elementos domóticos de operación de dispositivos de sombras móviles, se ha establecido que su precio de mercado actual puede estar sobre los 4€/m² de superficie construida. Ello supone un sobrecoste en inversión entre un 4% (en las soluciones más económicas correspondientes a las fachadas FA00), y un 0,6% (en las soluciones más caras de las fachadas FA06). Sin embargo, en coste de vida útil anualizado, el peso de este sobrecoste es de entre el 0,4% y el 1% para las soluciones de las fachadas mencionadas. En el contexto del análisis, este se ha considerado un sobrecoste despreciable. En cualquier caso, ello no supondrá ninguna variación comparativa con los escenarios de optimización, en cuanto a que todos ellos presuponen el uso este tipo de dispositivos, y solo comportarían una diferencia entre estos y el escenario base de referencia.

4.3.1 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPTIMIZACIÓN LUMÍNICA

Los casos de análisis en el escenario de optimización lumínica suponen que los elementos de sombra móviles operen únicamente evitando deslumbramientos (luminancias 10 veces superiores a la exigida en plano de trabajo), y que la iluminación artificial fluctúe en potencia en función de la iluminación natural incidente para llegar siempre a un nivel lumínico indicado (500 lux), al contrario que en el escenario base en que la iluminación artificial siempre estaba presente en máxima intensidad. El resto de parámetros se mantiene bajo las mismas condiciones que las de los casos del escenario base.

Análisis global de consumos energéticos

De forma análoga al análisis presentado par el escenario base, se muestran los resultados obtenidos en el escenario de optimización lumínica para los distintos consumos energéticos.

| | | N | | | | | S | | | | | |
|---------------------------------------|-------|--------|-------|--------|----------|-------|--------|-------|--------|----------|--------|--------|
| | | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | |
| FACHADA 00: FACHADA OPACA | Vc | Spot | 4,93 | 12,64 | 5,67 | 25,59 | 48,83 | 0,09 | 22,58 | 7,97 | 24,71 | 55,35 |
| | | Sm | 4,75 | 12,70 | 5,68 | 26,46 | 49,59 | 0,26 | 21,07 | 7,50 | 24,86 | 53,69 |
| | | Sf+rr | 6,93 | 8,30 | 5,68 | 25,69 | 45,70 | 0,72 | 11,10 | 6,36 | 24,72 | 42,80 |
| | Vr | Spot | 2,36 | 11,52 | 5,70 | 22,21 | 46,79 | 0,04 | 18,74 | 7,84 | 25,66 | 52,28 |
| | | Sm | 2,15 | 11,66 | 5,73 | 28,81 | 48,34 | 0,10 | 17,89 | 7,49 | 26,02 | 51,50 |
| | | Sf+rr | 2,89 | 8,24 | 5,63 | 27,32 | 44,08 | 0,28 | 10,49 | 6,51 | 25,68 | 42,96 |
| | | N | | | | | S | | | | | |
| | | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | |
| FACHADA 01: VENTANA | Vc | Spot | 12,66 | 24,65 | 6,64 | 21,62 | 65,57 | 0,60 | 57,40 | 11,29 | 21,47 | 90,76 |
| | | Sm | 12,66 | 24,65 | 6,64 | 21,62 | 65,57 | 2,73 | 43,52 | 9,28 | 21,46 | 77,00 |
| | | Sf+rr | 15,82 | 13,70 | 6,06 | 21,86 | 57,44 | 4,75 | 19,86 | 6,93 | 21,67 | 53,22 |
| | Vbe | Spot | 4,38 | 23,54 | 6,40 | 21,96 | 56,28 | 0,01 | 39,27 | 10,96 | 21,77 | 85,01 |
| | | Sm | 4,37 | 23,54 | 6,40 | 22,02 | 56,34 | 0,24 | 40,50 | 9,44 | 21,77 | 71,94 |
| | | Sf+rr | 5,74 | 14,18 | 5,71 | 22,26 | 47,88 | 0,63 | 20,82 | 7,84 | 22,02 | 50,84 |
| Vr | Spot | 14,34 | 12,59 | 5,94 | 23,18 | 56,06 | 1,92 | 23,56 | 7,54 | 22,81 | 55,83 | |
| | Sm | 14,28 | 12,60 | 5,94 | 23,40 | 56,23 | 4,71 | 20,42 | 6,55 | 22,85 | 54,53 | |
| | Sf+rr | 16,84 | 7,35 | 6,18 | 23,67 | 54,04 | 7,42 | 9,80 | 6,02 | 23,17 | 46,41 | |
| | | N | | | | | S | | | | | |
| | | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | |
| FACHADA 02: FACHADA CONTINUA | Vc | Spot | 19,13 | 33,21 | 8,85 | 21,34 | 82,54 | 1,80 | 81,04 | 17,29 | 21,22 | 121,95 |
| | | Sm | 19,13 | 33,21 | 8,85 | 21,36 | 82,55 | 5,28 | 56,93 | 12,99 | 21,21 | 95,99 |
| | | Sf+rr | 25,22 | 15,46 | 7,60 | 21,70 | 69,97 | 11,12 | 20,89 | 8,44 | 21,54 | 61,98 |
| | Vbe | Spot | 5,98 | 32,35 | 8,33 | 21,63 | 68,29 | 0,04 | 75,52 | 16,37 | 21,47 | 113,40 |
| | | Sm | 5,98 | 32,35 | 8,33 | 21,66 | 68,32 | 0,39 | 54,41 | 13,06 | 21,45 | 89,31 |
| | | Sf+rr | 8,57 | 16,70 | 6,90 | 22,06 | 54,22 | 1,76 | 22,94 | 8,71 | 21,85 | 55,27 |
| Vr | Spot | 21,38 | 16,20 | 7,36 | 22,64 | 67,58 | 3,82 | 32,91 | 10,45 | 22,33 | 69,51 | |
| | Sm | 21,36 | 16,21 | 7,36 | 22,80 | 67,72 | 7,90 | 25,69 | 8,46 | 22,35 | 64,40 | |
| | Sf+rr | 26,14 | 7,94 | 7,61 | 23,31 | 65,00 | 14,82 | 10,17 | 7,43 | 22,90 | 55,33 | |
| | | N | | | | | S | | | | | |
| | | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | |
| FACHADA 03: CAMARA NO VENTILADA | Vc | Spot | 9,12 | 22,96 | 9,31 | 21,77 | 63,15 | 0,04 | 75,89 | 12,89 | 21,58 | 110,41 |
| | | Sm | 9,20 | 20,67 | 8,38 | 21,83 | 59,07 | 0,10 | 55,82 | 10,53 | 21,62 | 88,07 |
| | | Sf+rr | 10,29 | 11,84 | 8,14 | 22,29 | 52,56 | 0,40 | 29,46 | 8,82 | 22,05 | 60,73 |
| | Vbe | Spot | 2,38 | 21,99 | 9,09 | 22,15 | 55,61 | 0,00 | 69,61 | 12,31 | 21,91 | 103,84 |
| | | Sm | 2,13 | 19,80 | 8,18 | 22,26 | 52,37 | 0,00 | 51,52 | 10,18 | 21,96 | 83,67 |
| | | Sf+rr | 2,91 | 12,35 | 7,90 | 22,80 | 45,97 | 0,00 | 31,22 | 8,87 | 22,48 | 62,57 |
| Vr | Spot | 7,15 | 21,36 | 9,15 | 23,53 | 61,19 | 0,02 | 68,80 | 12,08 | 23,05 | 103,95 | |
| | Sm | 6,40 | 19,24 | 8,24 | 23,83 | 57,71 | 0,04 | 52,86 | 10,17 | 23,17 | 86,24 | |
| | Sf+rr | 8,04 | 11,34 | 8,04 | 24,58 | 51,99 | 0,17 | 28,59 | 8,67 | 23,88 | 61,31 | |
| | | N | | | | | S | | | | | |
| | | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | Calef. | Frio | Latén. | Illumin. | Total | |
| FACHADA 04: CAMARA VENTILADA | Vc | Spot | 14,57 | 16,10 | 9,45 | 22,59 | 62,70 | 1,57 | 33,31 | 10,53 | 22,37 | 67,78 |
| | | Sm | 13,11 | 14,49 | 8,50 | 22,63 | 58,73 | 2,13 | 27,78 | 9,31 | 22,29 | 61,51 |
| | | Sf+rr | 15,87 | 8,39 | 8,32 | 22,76 | 55,34 | 4,87 | 12,88 | 8,35 | 22,43 | 48,53 |
| | Vbe | Spot | 7,02 | 13,36 | 9,10 | 23,18 | 52,66 | 0,09 | 25,84 | 9,66 | 22,86 | 58,46 |
| | | Sm | 6,31 | 12,03 | 8,19 | 23,23 | 49,76 | 0,23 | 21,23 | 8,57 | 22,79 | 52,81 |
| | | Sf+rr | 8,03 | 7,53 | 8,11 | 23,36 | 47,03 | 1,34 | 10,82 | 7,98 | 22,94 | 43,07 |
| Vr | Spot | 12,22 | 14,54 | 9,29 | 25,22 | 61,27 | 1,09 | 28,96 | 10,00 | 24,46 | 64,51 | |
| | Sm | 10,94 | 13,10 | 8,36 | 25,60 | 58,00 | 1,41 | 24,55 | 8,91 | 24,37 | 59,24 | |
| | Sf+rr | 13,36 | 7,79 | 8,25 | 25,59 | 54,99 | 3,73 | 11,71 | 8,18 | 24,53 | 48,16 | |

| CÓDIGO DE CONSUMOS | | | | |
|-------------------------|----------|----------|--------------|----------|
| Calefacción | Frio | Latente | Illuminación | TOTAL |
| kWh/m ² /año | | | | |
| >100 | >100 | >100 | >100 | >100 |
| 50 - 100 | 50 - 100 | 50 - 100 | 50 - 100 | 50 - 100 |
| 20 - 50 | 20 - 50 | 20 - 50 | 20 - 50 | 20 - 50 |
| 5 - 20 | 5 - 20 | 5 - 20 | 5 - 20 | 5 - 20 |
| 0 - 5 | 0 - 5 | 0 - 5 | 0 - 5 | 0 - 5 |

Figura 62. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia cabe destacar el cambio de escala de representación gráfica en comparación al equivalente del escenario base. Efectivamente, si en el escenario base las escalas variaban de 0 hasta más de 150kWh/m²/año de forma coherente entre los distintos consumos energéticos representados, en este escenario de optimización lumínica la escala se modifica en horquillas que van de los 0 a los 100kWh/m²/año. Ello es sinónimo de la reducción de consumos en este escenario de optimización lumínica, que se analizará en más detalle en el capítulo de resultados comparados, que obedece tanto a la propia reducción de consumos lumínicos, como las variaciones de consumos térmicos derivados de una reducción de las cargas internas.

Nuevamente se acompaña la representación gráfica de una valoración numérica a partir de los valores promedio de todos los casos analizados para cada fachada y sus desviaciones estándar;

Tabla 40. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m²/año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Desviación estándar |
|---|----------|---------------------|
| F00 – Fachada opaca | 49,18 | 4,00 |
| F01 – Fachada ventana | 61,16 | 12,13 |
| F02 – Fachada continua | 75,19 | 18,68 |
| F03 – Cámara no ventilada | 77,61 | 24,07 |
| F04 – Cámara ventilada | 70,02 | 19,78 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 71,46 | 15,77 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 55,81 | 6,53 |

En relación a los resultados obtenidos, se constata,

- ✓ Igual que en el escenario base, en este escenario de optimización lumínica las soluciones con consumos energéticos globales inferiores corresponden a los casos de las fachadas F00 y F06. En valores promedio, los consumos asociados a los casos de estas fachadas son, de promedio, de entre 49 y 56kWh/m²/año, con desviaciones estándar claramente por debajo del resto de casos de otras soluciones de fachada.
- ✓ En este escenario, la fachada F01 pasa a ocupar una posición intermedia de consumos globales. En este sentido, esta solución consigue valores de consumo de calefacción equivalentes a las dobles pieles, mientras que tiene consumos de refrigeración del mismo orden de magnitud que las soluciones FA02 y FA05. La desviación de resultados también indica una mayor homogeneidad de valores en comparación a las fachadas más consumidoras.
- ✓ El resto de fachadas, F02, F03, F04 y F05, son las que obtienen consumos globales más elevados, con valores promedio de entre 70 y 78kWh/m²/año. También se dan desviaciones de resultados mayores indicando, nuevamente, su vulnerabilidad a las condiciones ambientales.
- ✓ En detalle, y de la imagen de consumos, se aprecia como son los consumos de refrigeración los que gobiernan el comportamiento global; más allá del comportamiento por tipologías de fachadas, se aprecia que las orientaciones N quedan más resguardadas que las más expuestas a S, y como son los vidrios con tratamiento solar, los que ofrecen mejores comportamientos, en ambos casos de forma reiterada por las distintas tipologías de fachadas. De esta forma, los consumos de refrigeración sensible, nuevamente los casos con F00 son los que obtienen un mejor comportamiento, aunque en este caso con un valores similares a los casos de

las fachadas F06. El resto de casos tiene consumos parejos, aunque sensiblemente peores para el resto de casos de fachadas de doble hoja. Por su parte, los consumos de calefacción resultan inferiores en el caso de la F00 en comparación al resto de fachadas, siendo las fachadas de doble hoja las que ocupan una segunda posición. Las otras fachadas transparentes, ocupan la peor posición. Tanto para los consumos de refrigeración latente, como los de iluminación, se aprecia una uniformidad de resultados entre todos los casos analizados, independientemente de la tipología de fachada. Considerando las tendencias observadas en el confort lumínico del escenario base de referencia, en los casos de este escenario de optimización lumínica, la uniformidad en consumos de iluminación artificial obedecen a que, si bien los casos de F00 podrían requerir, a priori, un mayor consumo de iluminación artificial, el hecho que los elementos domóticos actúen delante de situaciones de deslumbramientos (comunes en las soluciones de F01 a F06), resulta a una igualación de los valores resultantes, independientemente de la tipología de fachada analizada.

Del análisis global, y de forma análoga a los resultados obtenidos en el escenario base de referencia, los resultados de menor consumo energético corresponden a las soluciones con F00 e igualmente las de F06. En segunda instancia se sitúan las soluciones con fachada F02, seguidas de las otras tipologías transparentes de hoja simple. El resto de fachadas de doble hoja (F03 y F04), copan las situaciones de mayores consumos energéticos asociados al uso.

Del análisis de los casos de este escenario, y entendiendo que para los otros dos escenarios de optimización las valoraciones serán semejantes a esta o a la del escenario base, se muestra también la distribución de consumos por usos. Ello resulta relevante en un contexto en el que la iluminación ya no es un consumo fijo, si no que es un valor variable en base a la solución de fachada y los otros parámetros de definición. De esta forma, y para el promedio de orientaciones se tiene,

Tabla 41. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos por usos (kWh/m²/año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

| | Calef. | Frío | Latén. | Ilumin. | Total |
|---|---------------|--------------|---------------|----------------|--------------|
| F00 – Fachada opaca | 2,29 | 12,56 | 6,29 | 28,05 | 49,18 |
| F01 – Fachada ventana | 6,89 | 24,72 | 7,30 | 22,26 | 61,16 |
| F02 – Fachada continua | 11,10 | 32,46 | 9,69 | 21,93 | 75,19 |
| F03 – Cámara no ventilada | 2,90 | 43,11 | 9,00 | 22,60 | 77,61 |
| F04 – Cámara ventilada | 3,19 | 34,74 | 9,50 | 22,60 | 70,02 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 10,38 | 29,58 | 9,31 | 22,19 | 71,46 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 6,55 | 16,91 | 8,84 | 23,51 | 55,81 |
| Prom. | 6,19 | 27,73 | 8,56 | 23,31 | 65,78 |
| Distribución | 9% | 42% | 13% | 35% | |

En donde se aprecia que, en los casos de este escenario de optimización, el consumo que gobierna el comportamiento global es el de refrigeración (de promedio el 42%), seguido del de iluminación (35%), y a distancia de los de latente (13%) y calefacción (9%). Del análisis de esta distribución según tipología de fachada se tiene,

Tabla 42. Distribuciones promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos por usos (kWh/m²/año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

| | Calef. | Frío | Latén. | Ilumin. |
|---|---------------|-------------|---------------|----------------|
| F00 – Fachada opaca | 5% | 26% | 13% | 57% |
| F01 – Fachada ventana | 11% | 40% | 12% | 36% |
| F02 – Fachada continua | 15% | 43% | 13% | 29% |
| F03 – Cámara no ventilada | 4% | 56% | 12% | 29% |
| F04 – Cámara ventilada | 5% | 50% | 14% | 32% |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 15% | 41% | 13% | 31% |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 12% | 30% | 16% | 42% |

En donde resulta relevante constatar la variabilidad de la distribución de consumos según tipologías de fachadas, de manera que en las soluciones con consumos energéticos más elevados (las F01, F02, F03, F04 y F05) gobierna, con más o menos claridad, el consumo de refrigeración por encima del de iluminación, mientras que para el resto (F01 y F06), esta tendencia se invierte. En el caso del peso del consumo de calefacción, en menor medida, y del de latente, se aprecia una uniformidad de valores. Cabe destacar que de un análisis por orientaciones, a norte se da una predominancia de la iluminación respecto a la refrigeración

(de 40 al 30% respectivamente), mientras que a sur la tendencia es la contraria y con valores más diferenciados (del 32 y 52% respectivamente). De todo ello se constata que, en el momento de introducir sensores de iluminación, los consumos de refrigeración pasan a ser predominantes para fachadas con mayor proporción de hueco (F01, F02, F03, F04 y F05) y sobre todo en orientación sur, mientras que la iluminación continúa predominando en fachadas de menor consumo asociado (F01 y F06), sobretodo con orientación norte. De esta forma, las soluciones que consiguen una mayor protección térmica (a nivel de refrigeración) son las que tienen consumos globales más reducidos, aunque con ello tengan una mayor proporción de consumos de iluminación.

Análisis global de costes económicos

Paralelamente al análisis de consumos energéticos, se muestra a continuación los valores de costes económicos. En este caso, y dado que la representación engloba los costes de inversión, semejantes respecto a los casos del escenario base, y el peso de los mismos en el indicador del coste de vida útil analizado, se conserva el código de colores con las mismas horquillas que en la representación del escenario base.

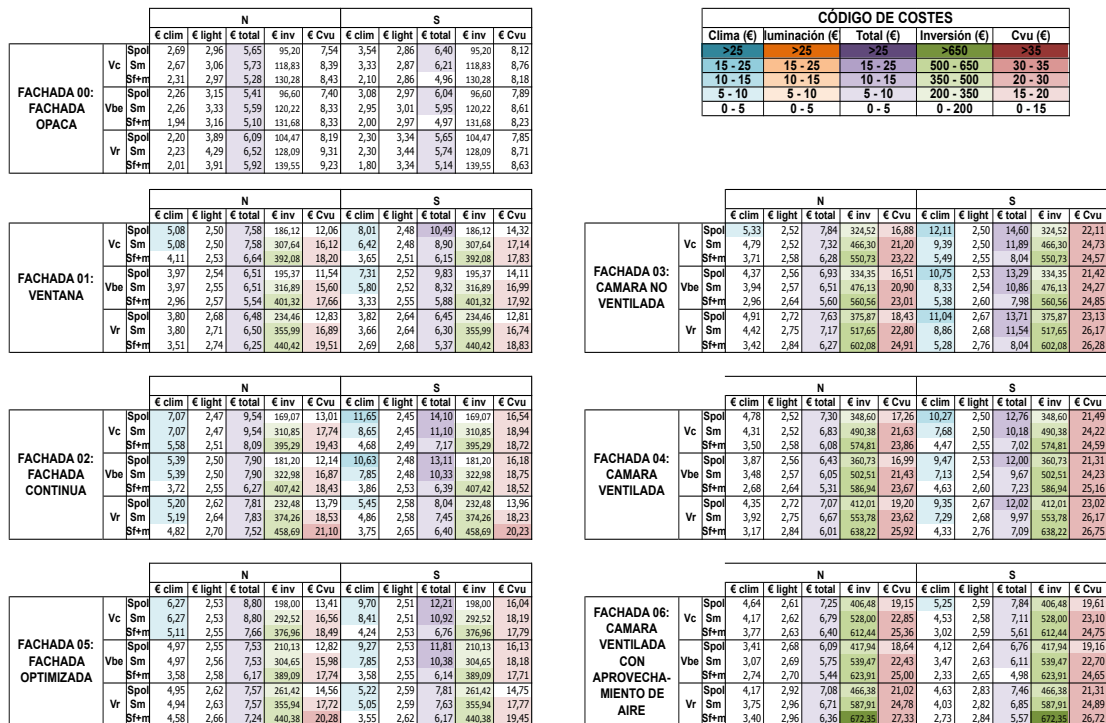


Figura 63. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

Que en base a valores promedio, puede sintetizarse en los siguientes datos,

Tabla 43. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m2/año) y de inversión (€/m2) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínica. Fuente: elaboración propia

| | CVUa | | Cinv | |
|---|----------|---------------------|----------|---------------------|
| | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar |
| F00 – Fachada opaca | 8,34 | 0,49 | 118,32 | 15,17 |
| F01 – Fachada ventana | 15,95 | 2,37 | 314,48 | 87,09 |
| F02 – Fachada continua | 17,28 | 2,47 | 316,92 | 97,30 |
| F03 – Cámara no ventilada | 22,52 | 2,81 | 467,58 | 95,95 |
| F04 – Cámara ventilada | 22,81 | 2,75 | 496,44 | 97,30 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 16,86 | 1,95 | 314,34 | 78,09 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 22,97 | 2,60 | 539,43 | 88,43 |

En donde se aprecia,

- ✓ Los casos de fachadas F00 continúan mostrando los costes de operación (de factura energética) menores, siendo también los de las F06 del mismo orden de magnitud. Para el resto de casos de fachadas de una hoja transparente (F02, F03 y F05) y de doble hoja (F03 y F04), los consumos de operación son mayores, en especial en orientaciones S, fruto de un mayor peso de la factura de clima por encima de la de iluminación.
- ✓ Nuevamente destacan los costes de inversión que, al ser del mismo orden de magnitud que el los casos del escenario base de referencia, perpetúan las tendencias observadas entonces. De esta forma, mientras los casos de la F00 son claramente los más económicos, las soluciones de doble hoja son las que copan inversiones mayores, quedando el resto de soluciones en posiciones intermedias.
- ✓ De lo anterior se constata que, nuevamente, las soluciones con F00 son las que tienen valores de CVUa menores, mientras que las de doble hoja, incluyendo las correspondientes a la F06, son las que presentan valores más elevados. El resto de soluciones transparentes de una hoja, se sitúan en costes intermedios entre esos dos extremos. También en este escenario, se mantiene la tendencia de las desviaciones estándar por las que las soluciones con F00 mantienen resultados más homogéneos que en el resto de fachadas.

En resumen, aunque los valores observados son, en valor absoluto, menores que los mostrados en el escenario de referencia para los mismos casos, las tendencias permanecen invariables.

4.3.2 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPTIMIZACIÓN TÉRMICA

Los casos del escenario de optimización térmica consideran que los elementos de sombra móviles, cuando existen, priorizan la reducción del sobrecalentamiento de los espacios, esto es, se operan en aras de reducir las demandas de refrigeración y la correcta operación en los instantes del año en donde la radiación incidente se puede aprovechar para reducir las demandas de calefacción. El resto de parámetros, incluida la iluminación artificial, se mantiene igual que en los casos del escenario base; en concreto, no se considera el uso de elementos de regulación de potencia de iluminación.

Análisis global de consumos energéticos

De forma análoga al análisis presentado en el escenario de optimización lumínica, se muestran los resultados obtenidos en el escenario de optimización térmica para los distintos consumos energéticos.

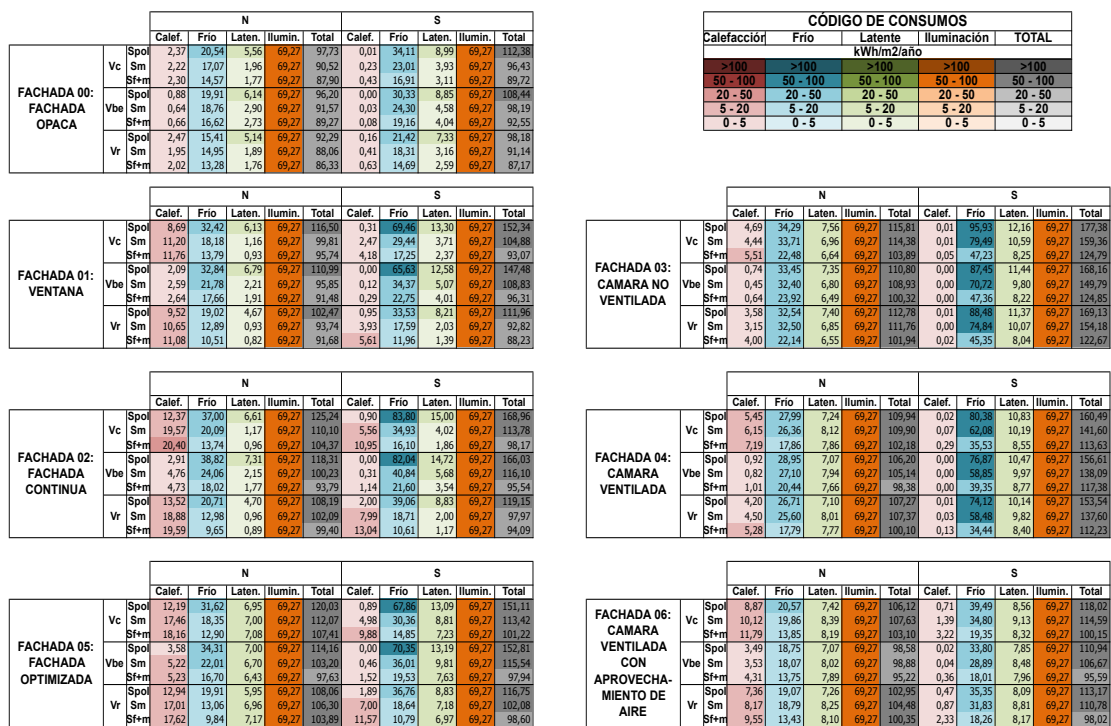


Figura 64. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia

Que, para los casos de este escenario de optimización térmica se sintetiza en los siguientes valores promedio y desviaciones estándar;

Tabla 44. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m²/año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Desviación estándar |
|---|----------|---------------------|
| F00 – Fachada opaca | 94,11 | 6,90 |
| F01 – Fachada ventana | 105,23 | 17,66 |
| F02 – Fachada continua | 112,86 | 21,37 |
| F03 – Cámara no ventilada | 129,49 | 25,18 |
| F04 – Cámara ventilada | 120,98 | 20,30 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 112,35 | 15,47 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 104,74 | 6,55 |

De esta forma, destaca:

- ✓ Aunque nuevamente, los casos de mejor comportamiento energético, son los correspondientes a las de las fachadas F00, al contrario que lo observado en escenarios precedentes, en este los casos correspondientes a la fachada F06 tienen comportamientos claramente peores que los casos de referencia. Ello deriva de que, el uso de elementos de sombra en optimización térmica, pese a reducir en valor absoluto los consumos en relación a los mismos casos del escenario de referencia, lo hace menos en estos casos que en el resto de tipologías de fachadas.
- ✓ De esta forma, las fachadas con un peor comportamiento se erigen como las fachadas de doble hoja, F03, F04 y F06, sin distinciones evidentes entre ellas.
- ✓ Finalmente, las soluciones con fachada transparente de piel simple (F01, F02 y F05) alcanzan un comportamiento intermedio, con consumos de calefacción relativamente más elevados, pero inferiores en refrigeración en relación a las fachadas de doble hoja. En este sentido, cabe destacar como es la optimización térmica, no existe un consumo por uso que gobierne claramente el consumo global. De esta forma, se produce una uniformización de resultados que deriva, igualmente, en una homogeneización por orientaciones o tipos de vidrios que, aunque caso a caso ofrece soluciones distintas, en general no concluye en tendencias claras.

Destaca, de esta forma, que en el análisis de optimización térmica, se produce una variación significativa para los casos de la F06 que, en contraposición de los otros análisis de escenarios mostrados, pasan a tener unos consumos semejantes al resto de soluciones de doble hoja, desmarcándose de las soluciones con fachadas F00, con las que, hasta el momento, compartían órdenes de magnitud. Ello no significa que no se reduzcan los

consumos asociados a estos casos, si no que lo hacen en menor medida que en otros casos de este escenario.

Análisis global de costes económicos

Paralelamente al análisis de consumos energéticos, se muestra a continuación los valores de costes económicos.

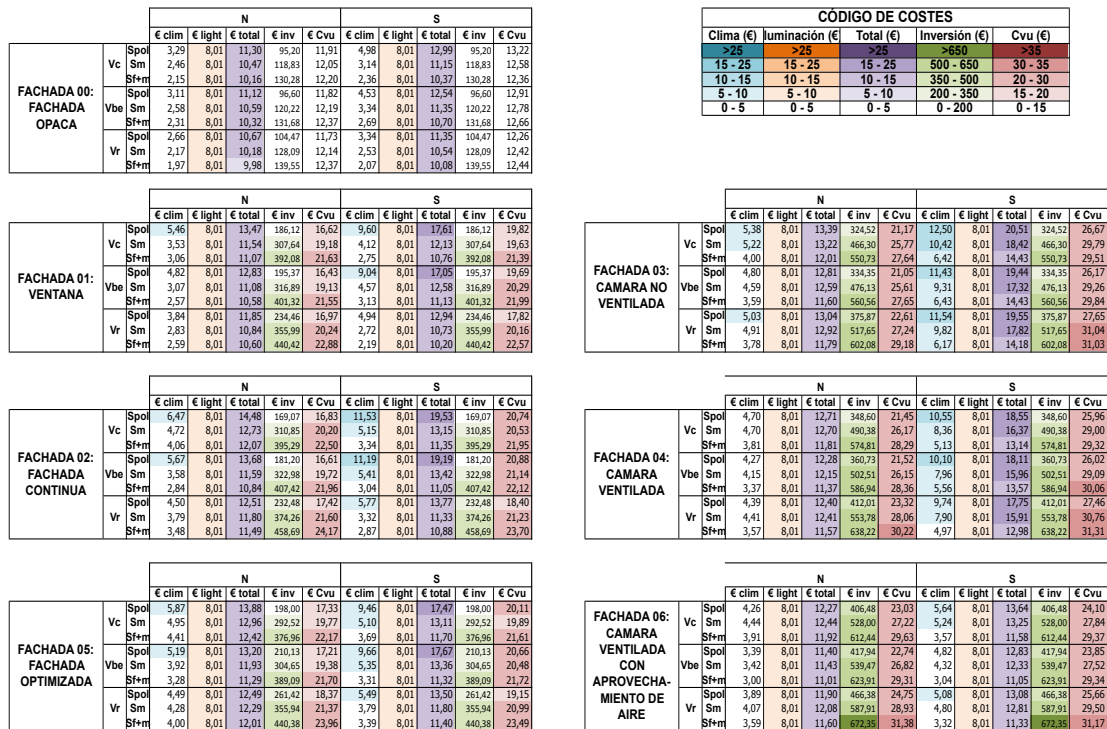


Figura 65. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia

Nuevamente en este escenario, al igual que en el de optimización lumínica, se conserva el código de colores con las mismas horquillas que en la representación del escenario base.

Tabla 45. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m2/año) y de inversión (€/m2) según tipología de fachadas en el escenario de optimización térmica. Fuente: elaboración propia

| | CVUa | | Cinv | |
|--|----------|---------------------|----------|---------------------|
| | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar |
| F00 – Fachada opaca | 12,36 | 0,37 | 118,32 | 15,17 |
| F01 – Fachada ventana | 19,89 | 1,91 | 314,48 | 87,09 |
| F02 – Fachada continua | 20,65 | 2,10 | 316,92 | 97,30 |
| F03 – Cámara no ventilada | 27,16 | 2,97 | 467,58 | 95,95 |
| F04 – Cámara ventilada | 27,36 | 2,85 | 496,44 | 97,30 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 20,52 | 1,80 | 314,34 | 78,09 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 27,34 | 2,67 | 539,43 | 88,43 |

En cualquier caso no se aprecian cambios relevantes respecto al mismo análisis realizado para otros escenarios, ni entre este análisis y el de consumos energéticos de este mismo escenario de optimización térmica. Esto último sí que representa un cambio de tendencia entre este escenario y los precedentes, por lo comentado anteriormente en el estudio de consumos. El resto de apreciaciones resultan reiterativas a las anteriormente obtenidas en el análisis de consumos o de costes de otros escenarios.

4.3.3 RESULTADOS DEL ESCENARIO DE OPTIMIZACIÓN LUMÍNICO-TÉRMICA

Finalmente, los casos del escenario de optimización lumínico-térmica consideran la combinación de los dos precedentes de manera que, en estos, la iluminación artificial fluctúa en potencia para que exista siempre un nivel lumínico indicado (500 lux) aprovechando al máximo la iluminación natural (y bajo las mismas condiciones de sensores establecidas en el escenario de optimización lumínica), y que los elementos de sombra móviles, cuando existen, prioricen la reducción del sobrecalentamiento de espacios (al igual que en el escenario de optimización térmica). Esto último implica, de forma inherente, que no se asegure la inexistencia de deslumbramientos puesto que los elementos de sombra no operan bajo esta premisa. Cabe destacar que sería factible, a nivel teórico, considerar un sistema de control que, para cada paso de tiempo evaluara la conveniencia entre operar los elementos de sombra desde una perspectiva de ahorro económico o de confort del usuario y, en base a ello se operara con la mejor opción. Ello sin embargo requiere de un nivel de profundidad de análisis que queda fuera del alcance del análisis presentado.

Análisis global de consumos energéticos

De forma análoga a los análisis de los otros escenarios de optimización, se muestran a continuación los resultados obtenidos en el escenario de optimización lumínico-térmica para los distintos consumos energéticos.

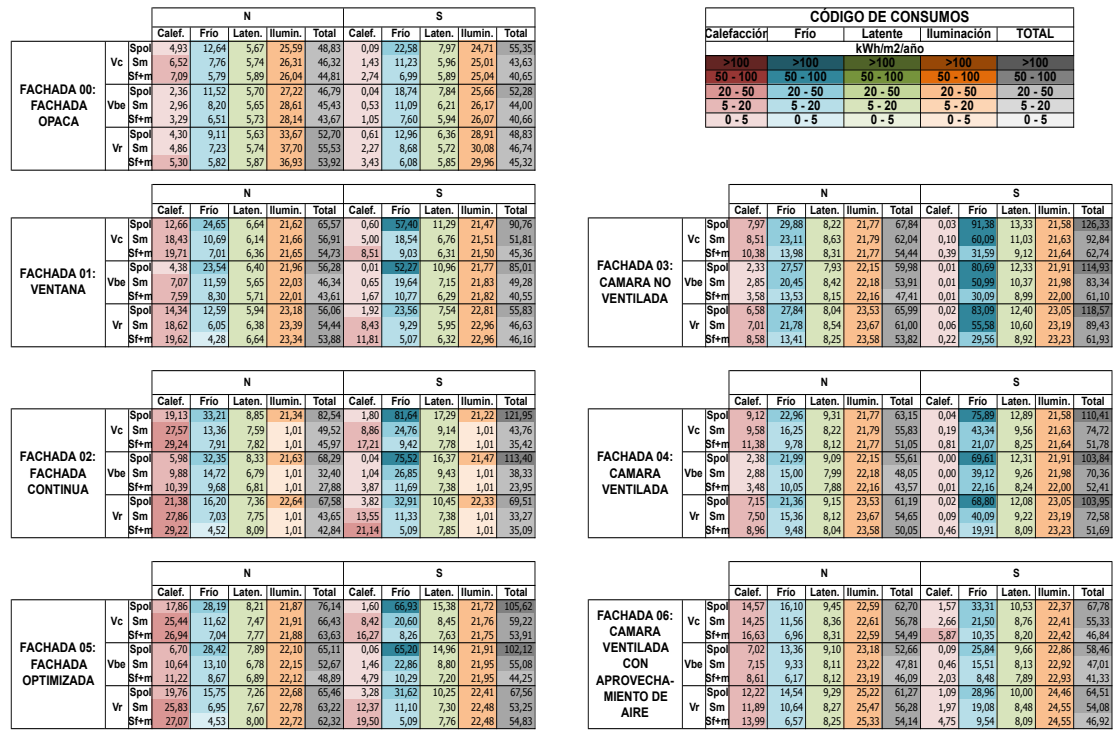


Figura 66. Representación gráfica de los consumos energéticos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia

Que en base a valores promedios,

Tabla 46. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de consumos energéticos (kWh/m2/año) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia

| | Promedio | Desviación estándar |
|---|----------|---------------------|
| F00 – Fachada opaca | 47,53 | 4,56 |
| F01 – Fachada ventana | 55,51 | 12,89 |
| F02 – Fachada continua | 54,19 | 27,32 |
| F03 – Cámara no ventilada | 74,31 | 23,60 |
| F04 – Cámara ventilada | 65,27 | 20,05 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 64,43 | 15,82 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 54,14 | 6,98 |

En donde,

- ✓ Aunque los consumos de frío resultan los elementos diferenciadores en las orientaciones más expuestas (S) y bajo ciertas condiciones de elementos de sombra, el resto de consumos se uniformiza en mayor medida que para los otros escenarios analizados. Ello deriva que, aunque para el global de casos de una misma fachada, las F00 son las que tienen asociado un mejor comportamiento, se observa una cierta

homogeneización de resultados entre las fachadas F01, F02 y F06, aunque estas últimas con una menor dispersión de resultados. En menor medida esta tendencia también se observa para el resto de soluciones (F03, F04, y F05) aunque estas, en global, comportan un peor comportamiento energético.

- ✓ Aunque para algunas fachadas (F01, F02 y F05) se evidencia un mejor comportamiento para vidrios con tratamiento solar, para el resto de casos desaparece esta tendencia, tanto para aquellos de consumos más moderados y equilibrados por usos (F00 y F06), como para aquellos más extremos y condicionados por los consumos de frío (F03 y F04).
- ✓ Destacar, finalmente, el efecto que se produce en la fachada continua (F02) por el que los consumos asociados a la iluminación se reducen drásticamente, independientemente de orientaciones y tipologías de vidrios, desmarcándose como la solución más optimizada a este nivel (aunque sus consumos en calefacción a N, y en refrigeración a S, resulten en un global de consumos de un orden de magnitud medio en comparación al resto de resultados).

Análisis global de costes económicos

Finalmente se muestra a continuación los valores de costes económicos.

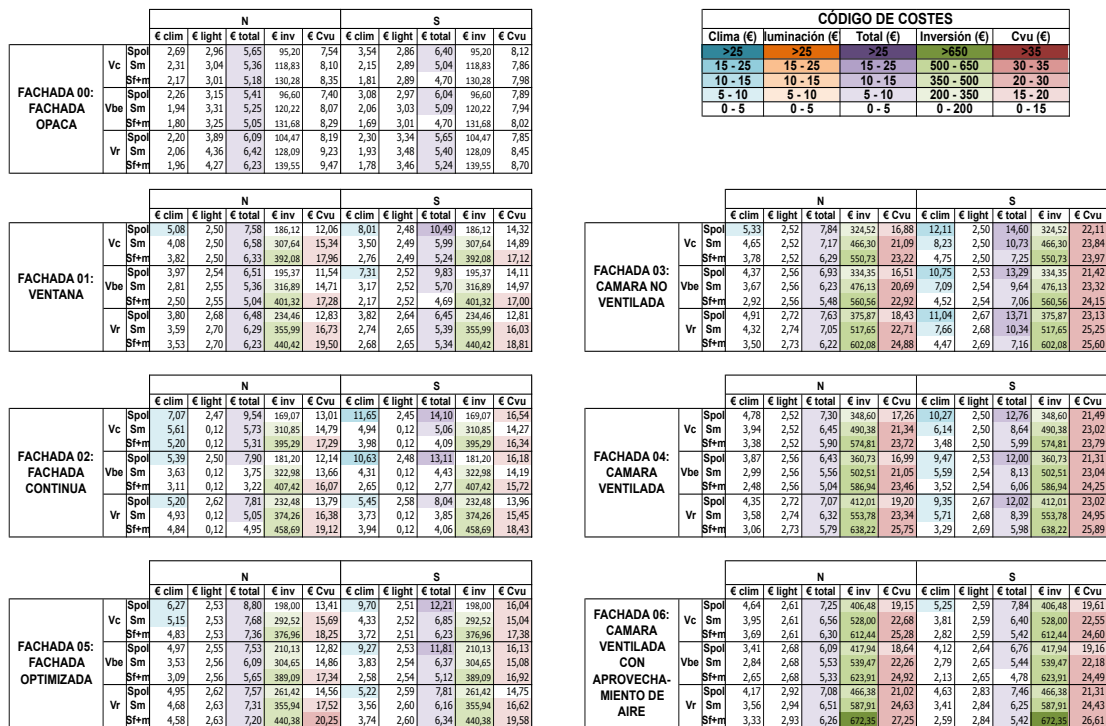


Figura 67. Representación gráfica de los costes económicos agrupados por fachadas y para los casos de análisis del escenario de optimización lumínico-térmica. Fuente: elaboración propia

Que en valores se expresan mediante,

Tabla 47. Valores promedio (orientaciones, tipos de vidrio y elementos de sombra) de costes de vida útil (€/m2/año) y de inversión (€/m2) según tipología de fachadas en el escenario de optimización lumínico-térmica.
Fuente: elaboración propia

| | CVUa | | Cinv | |
|---|----------|---------------------|----------|---------------------|
| | Promedio | Desviación estándar | Promedio | Desviación estándar |
| F00 – Fachada opaca | 8,19 | 0,51 | 118,32 | 15,17 |
| F01 – Fachada ventana | 15,44 | 2,23 | 314,48 | 87,09 |
| F02 – Fachada continua | 15,41 | 1,79 | 316,92 | 97,30 |
| F03 – Cámara no ventilada | 22,23 | 2,59 | 467,58 | 95,95 |
| F04 – Cámara ventilada | 22,38 | 2,48 | 496,44 | 97,30 |
| F05 – Fachada optimizada con difusor | 16,24 | 1,91 | 314,34 | 78,09 |
| F06 – Cámara ventilada con recirculación | 22,82 | 2,55 | 539,43 | 88,43 |

En donde, en general, se reproducen las mismas tendencias observadas en el comportamiento de costes económicos de los otros escenarios analizados, siendo nuevamente las soluciones de F00 las de mejor comportamiento, mientras que las de doble hoja, F03, F04 y F06 se mantienen en la franja de costes más elevados.

CAPÍTULO 4.4. RESULTADOS COMPARADOS

Considerando la ingente cantidad de datos acumulados a lo largo de los distintos análisis realizados y el interés, no solo de valorar los distintos casos dentro de un mismo escenario, si no de comparar resultados entre escenarios, se plantea a continuación una valoración conjunta de los valores obtenidos a lo largo del análisis.

Nuevamente, la valoración que se presenta se lleva a cabo justificada por los resultados cuantitativos de las simulaciones pero argumentada de forma cualitativa por la imposibilidad de establecer valores concretos que sean representativos de todos los casos de análisis. También como en los casos precedentes, se muestran representaciones gráficas de casos determinados para ayudar a la comprensión de las conclusiones establecidas y explicadas.

En este sentido, en primera instancia se ha escogido una nueva forma de representar los resultados con el fin de posibilitar una comprensión rápida e intuitiva de los mismos. Ello se ha conseguido mediante la representación, dada una tipología de fachada y para una misma orientación, de los resultados acumulados de consumos y distribuidos según usos.

Dichas representaciones se presentan a la vez para los 4 escenarios analizados con el fin de discernir claramente sobre el efecto de los distintos modos de operación de los edificios sin la necesidad de observar a la vez distintas gráficas.

Por otra parte, del análisis anterior es complicado mantener la perspectiva global de los resultados entre escenarios, por lo que nuevamente se plantean representaciones gráficas globales de los indicadores clave (consumos globales y costes de vida útil) para los distintos escenarios analizados y en todos los casos comparables.

4.4.1. RESULTADOS ESPECÍFICOS COMPARADOS ENTRE ESCENARIOS

El objetivo de este análisis es la comparación de consumos por usos entre distintos escenarios para casos comparables. Considerando que cada caso queda determinado por cinco tipos de consumos, la comparación de todos ellos supondría la valoración de 2.160 valores (contando todos los casos de los 4 escenarios de análisis). Con el objetivo de facilitar el análisis y comprensión de los resultados, y considerando que posteriormente se realiza un análisis global, se ha preferido delimitar la comparativa a una serie de casos representativos de cada escenario. Estos vienen determinados por:

- ✓ Fachadas. Se seleccionan las fachadas F00, F05 y F06 como representativas de las distintas casuísticas observadas.
- ✓ Sombras. Casos con sombra fija y móvil.

El resto de parámetros (orientación y tipo de vidrio), ya estaban delimitados en la propia definición de los casos de análisis por escenarios.

Resultados específicos de la Fachada F00 comparados entre escenarios

Para los casos de la fachada de referencia F00, las distintas distribuciones de consumos por usos en los escenarios de análisis, se representan en la siguiente tabla,

Tabla 48. Valores de consumos por usos (kWh/m²/año) de los distintos casos significativos de la fachada F00 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia

| | | | N | | | | | S | | | | |
|--------------------|----|------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| | | | Ca l. | Frío | Lat . | Ilum .. | TO T | Ca l. | Frío | Lat . | Ilum .. | TO T |
| Escena rio base | Vc | Sf+m | 1,9 7 | 17,9 5 | 2,1 3 | 69,2 7 | 91,3 2 | 0,0 9 | 23,7 0 | 4,4 2 | 69,2 7 | 97,4 7 |
| | Vb | Sf+m | 0,5 7 | 19,0 9 | 3,0 1 | 69,2 7 | 91,9 4 | 0,0 1 | 24,2 7 | 4,8 5 | 69,2 7 | 98,4 0 |
| | Vr | Sf+m | 1,8 5 | 15,0 2 | 1,9 5 | 69,2 7 | 88,0 9 | 0,2 7 | 17,7 2 | 3,4 1 | 69,2 7 | 90,6 6 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|---------------|-----|------|-------|------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| | | | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T |
| Opt. Lumínica | Vc | Sf+m | 6,03 | 8,30 | 5,68 | 25,69 | 45,70 | 0,72 | 11,10 | 6,36 | 24,72 | 42,90 |
| | Vbe | Sf+m | 2,89 | 8,24 | 5,63 | 27,32 | 44,08 | 0,28 | 10,49 | 6,51 | 25,68 | 42,96 |
| | Vr | Sf+m | 5,00 | 6,63 | 5,76 | 33,85 | 51,24 | 1,82 | 7,89 | 5,84 | 28,92 | 44,47 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|--------------|-----|------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|
| | | | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T |
| Opt. Térmica | Vc | Sf+m | 2,30 | 14,57 | 1,77 | 69,27 | 87,90 | 0,43 | 16,91 | 3,11 | 69,27 | 89,72 |
| | Vbe | Sf+m | 0,66 | 16,62 | 2,73 | 69,27 | 89,27 | 0,08 | 19,16 | 4,04 | 69,27 | 92,55 |
| | Vr | Sf+m | 2,02 | 13,28 | 1,76 | 69,27 | 86,33 | 0,63 | 14,69 | 2,59 | 69,27 | 87,17 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|-----------------------|-----|------|-------|------|-------|---------|-------|-------|------|-------|---------|-------|
| | | | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T | Ca l. | Frío | Lat . | llum .. | TO T |
| Opt. Lumínico-térmica | Vc | Sf+m | 7,09 | 5,79 | 5,89 | 26,04 | 44,81 | 2,74 | 6,99 | 5,89 | 25,04 | 40,65 |
| | Vbe | Sf+m | 3,29 | 6,51 | 5,73 | 28,14 | 43,67 | 1,05 | 7,60 | 5,94 | 26,07 | 40,66 |
| | Vr | Sf+m | 5,30 | 5,82 | 5,87 | 36,93 | 53,92 | 3,43 | 6,08 | 5,85 | 29,96 | 45,32 |

En donde se observan, de promedio, reducciones del consumo global del 48% en orientación N, y hasta del 55% a S. Representando gráficamente estos casos, se tienen

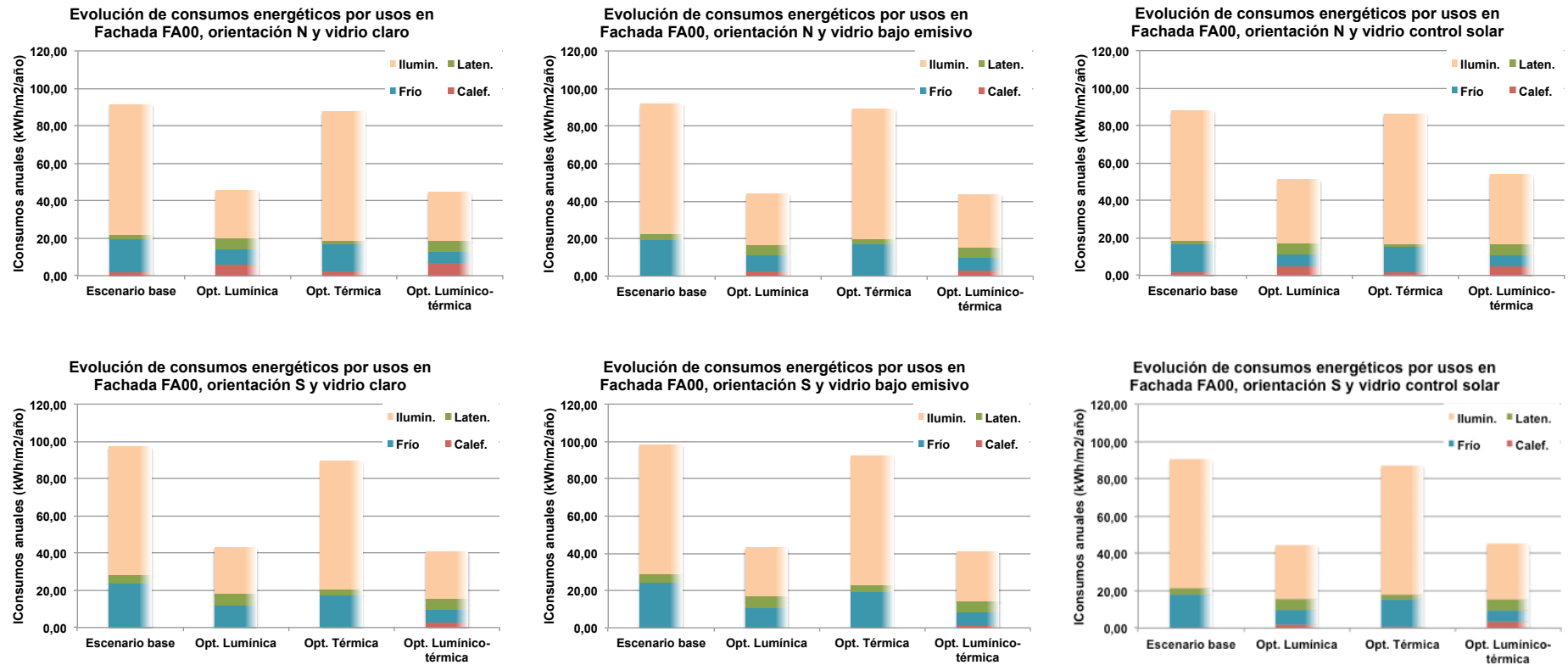


Figura 68. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio en casos de la fachada FA00. Fuente: elaboración propia

En donde, en primera instancia es posible constatar que los órdenes de magnitud, tanto para los valores correspondientes al escenario base como para el resto de casos, son semejantes tanto por orientaciones como por soluciones de vidrios.

Las diferencias quedan claramente representadas en la comparativa entre escenarios, observándose los siguientes efectos,

- ✓ Para las orientaciones N, los escenarios de optimización lumínica y lumínico-térmica tienen ahorros globales prácticamente equivalentes (del 48%).
- ✓ También a N, y tomando la referencia del escenario lumínico-térmico en comparación al escenario base, se producen reducciones claras en consumos de frío sensible (65% de promedio) y de iluminación (56% de promedio), mientras que aumentan los consumos de calefacción (en un 257% de promedio) y de latente (147% de promedio). De esta forma, y considerando la iluminación como un consumo a parte, a nivel térmico la optimización comporta un equilibrio entre los tipos de consumos en comparación al escenario base en donde predominaban los consumos de frío. Este efecto es más evidente para los casos con vidrio claro y control solar, siendo en los casos de vidrios bajo emisivos menos evidente.
- ✓ Finalmente para la orientación N, aunque los distintos casos de vidrios resultan en variaciones entre escenarios (base y de optimización lumínico-térmica) muy parecidas, se dan ahorros distintos para los casos de vidrios claros (51%) y bajo emisivos (52%), en comparación a los de control solar (40%), cuando en los tres casos los valores de partida del escenario de referencia eran del mismo orden de magnitud.
- ✓ Nuevamente, y para las orientaciones S, los escenarios de optimización lumínica y lumínico-térmica tienen ahorros globales prácticamente equivalentes (del 55 y 56% respectivamente).
- ✓ También en orientación S se dan las tendencias de variaciones de consumos por usos entre escenarios. Tomando la referencia y el escenario de optimización lumínico-térmica, se dan reducciones de los consumos de frío sensible (69% de promedio) e iluminación (61% de promedio), mientras que crece la calefacción (en un 1.800% de promedio) y la latente (un 39% de promedio), aunque estos dos últimos eran cuasi residuales en el escenario base.
- ✓ Finalmente, y de forma análoga a la orientación N, para la orientación S también se dan variaciones entre los consumos promedio según tipos de vidrios. Así las variaciones entre escenarios (base y de optimización lumínico-térmica) para los casos de vidrios claros (58%) y bajo emisivos (59%), son superiores a las de los de vidrios de control solar (del 50%). Aunque estos últimos partían de un consumo menor en el

escenario de referencia, después de la optimización quedan situados en los consumos más elevados.

Resultados específicos de la Fachada F05 comparados entre escenarios

Para los casos de la fachada F05, las distintas distribuciones de consumos por usos en los escenarios de análisis, se representan en la tabla siguiente

Tabla 49. Valores de consumos por usos (kWh/m²/año) de los distintos casos significativos de la fachada F05 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia

| | | | N | | | | | S | | | | |
|----------------|-----|------|-------|-------|------|--------|--------|------|-------|------|--------|--------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Escenario base | Vc | Sf+m | 15,97 | 20,48 | 7,07 | 69,27 | 112,78 | 6,06 | 27,56 | 8,26 | 69,27 | 102,87 |
| | Vbe | Sf+m | 4,52 | 24,18 | 6,94 | 69,27 | 104,91 | 0,76 | 33,04 | 9,35 | 69,27 | 101,14 |
| | Vr | Sf+m | 15,95 | 14,21 | 6,90 | 69,27 | 106,32 | 7,38 | 17,58 | 7,06 | 69,27 | 97,75 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|---------------|-----|------|-------|-------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Lumínica | Vc | Sf+m | 23,37 | 13,38 | 7,42 | 22,07 | 66,24 | 10,01 | 18,59 | 8,03 | 21,84 | 52,89 |
| | Vbe | Sf+m | 9,39 | 14,78 | 6,82 | 22,35 | 53,34 | 2,09 | 20,57 | 8,32 | 22,08 | 46,04 |
| | Vr | Sf+m | 24,26 | 7,82 | 7,53 | 23,04 | 62,65 | 13,05 | 10,30 | 7,36 | 22,67 | 51,43 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|--------------|-----|------|-------|-------|------|--------|--------|-------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Térmica | Vc | Sf+m | 18,16 | 12,90 | 7,08 | 69,27 | 107,41 | 9,88 | 14,85 | 7,23 | 69,27 | 99,13 |
| | Vbe | Sf+m | 5,23 | 16,70 | 6,43 | 69,27 | 97,63 | 1,52 | 19,53 | 7,63 | 69,27 | 93,92 |
| | Vr | Sf+m | 17,62 | 9,84 | 7,17 | 69,27 | 103,89 | 11,57 | 10,79 | 6,97 | 69,27 | 97,84 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|-----------------------|-----|------|-------|------|------|--------|-------|-------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Lumínico-térmica | Vc | Sf+m | 26,94 | 7,04 | 7,77 | 21,88 | 63,63 | 16,27 | 8,26 | 7,63 | 21,75 | 52,96 |
| | Vbe | Sf+m | 11,22 | 8,67 | 6,89 | 22,12 | 48,89 | 4,79 | 10,29 | 7,20 | 21,95 | 42,46 |
| | Vr | Sf+m | 27,07 | 4,53 | 8,00 | 22,72 | 62,32 | 19,50 | 5,09 | 7,76 | 22,48 | 54,74 |

En donde se observan, de promedio, reducciones del consumo global del 46% en orientación N, y hasta del 53% a S, que resultan en el mismo orden de magnitud que lo observado para los casos de la fachada F00.

Igualmente, y nuevamente de forma análoga a lo observado para la F00, en los casos de la F05 es posible constatar que los órdenes de magnitud, tanto para los valores correspondientes al escenario base como para el resto de casos, son semejantes tanto por orientaciones como por soluciones de vidrios.

La representación gráfica de estos resultados, se resume en la figura 69.

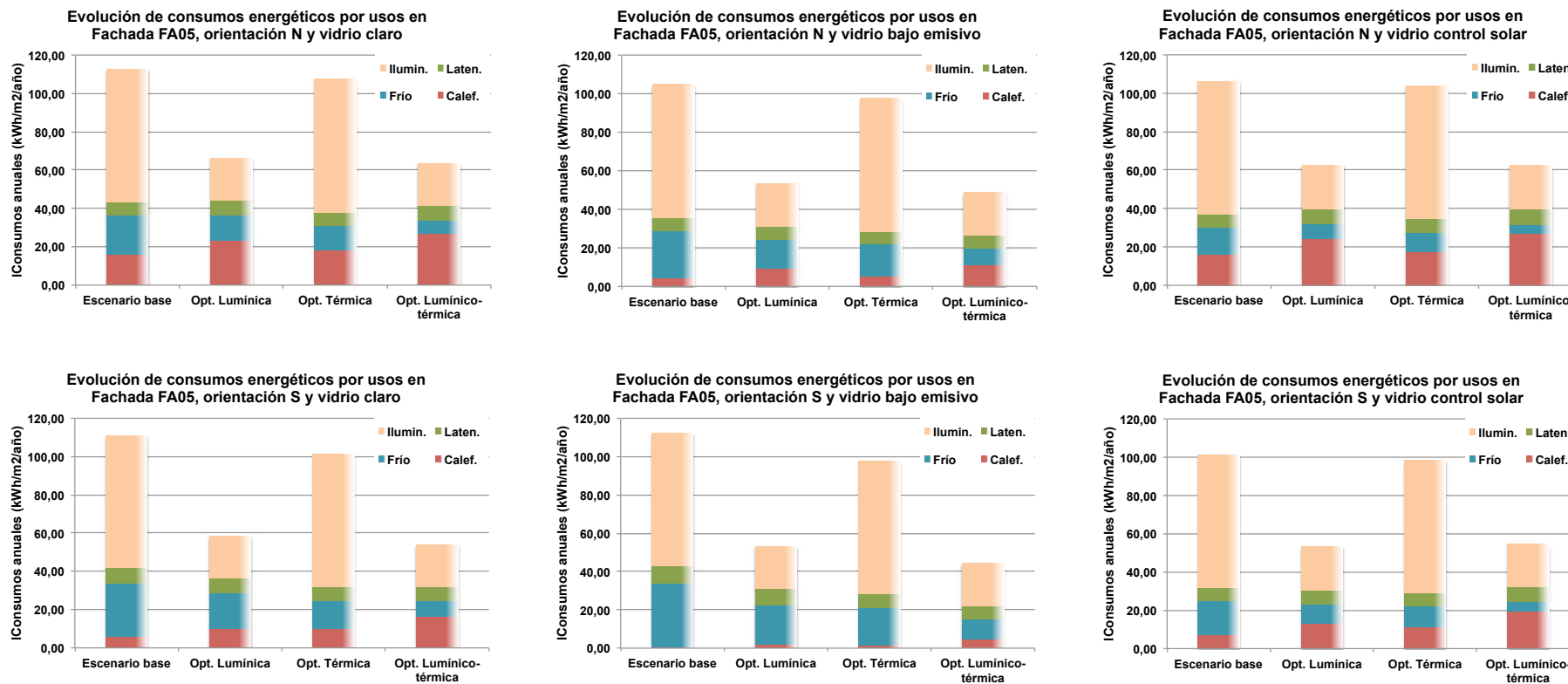


Figura 69. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio en casos de la fachada FA05. Fuente: elaboración propia

En donde se constatan las siguientes valoraciones,

- ✓ Para las orientaciones N, los escenarios de optimización lumínica y lumínico-térmica tienen ahorros globales prácticamente equivalentes (del 44 y 46% respectivamente).
- ✓ También a N, y tomando la referencia del escenario lumínico-térmico en comparación al escenario base, se producen reducciones claras en consumos de frío sensible (66% de promedio) y de iluminación (68% de promedio), mientras que aumentan los consumos de calefacción (en un 79% de promedio) y de latente (8% de promedio) aunque proporcionalmente en menor medida que para la F00. Así, y para esta F05, a nivel térmico la optimización comporta un aumento del consumo de calefacción que pasa a ser predominante, independientemente del tipo de vidrio considerado.
- ✓ Finalmente para la orientación N, aunque los distintos casos de vidrios resultan en variaciones entre escenarios (base y de optimización lumínico-térmica) parecidas, se dan ahorros distintos para los casos de vidrios bajo emisivos (53%) en comparación a los claros simples (44%) y los de control solar (41%).
- ✓ Nuevamente, y para las orientaciones S, los escenarios de optimización lumínica y lumínico-térmica tienen ahorros globales prácticamente equivalentes (del 49 y 53% respectivamente).
- ✓ También en orientación S se dan las tendencias de variaciones de consumos por usos entre escenarios. Tomando la referencia y el escenario de optimización lumínico-térmica, se dan reducciones de los consumos de frío sensible (70% de promedio), iluminación (68% de promedio) y, a diferencia de los casos anteriores, de la latente (un 8% de promedio), mientras que crece la calefacción (en un 186% de promedio) y la latente (un 39% de promedio).
- ✓ Finalmente, y de forma análoga a la orientación N, para la orientación S también se dan variaciones entre los consumos promedio según tipos de vidrios. Así las variaciones entre escenarios (base y de optimización lumínico-térmica) para los casos de vidrios claros (51%) y de control solar (46%), son inferiores a las de los de vidrios bajo emisivos (del 61%).

En general, destaca que las tendencias y potenciales de ahorro entre escenarios de estas fachadas F05 son equivalentes a los observados para F00, aunque con la salvedad que en estos casos no se produce un equilibrio entre consumos térmicos, si no que estos pasan de estar dominados por los consumos de frío a los de calefacción.

Resultados específicos de la Fachada F06 comparados entre escenarios

Finalmente, y para los casos de la fachada F06, las distintas distribuciones de consumos por usos en los escenarios de análisis, se representan en la tabla siguiente,

Tabla 50. Valores de consumos por usos (kWh/m²/año) de los distintos casos significativos de la fachada F06 por escenarios de análisis. Fuente: elaboración propia

| | | | N | | | | | S | | | | |
|----------------|-----|------|-------|-------|------|--------|--------|------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Escenario base | Vc | Sf+m | 11,27 | 15,73 | 8,26 | 69,27 | 104,52 | 2,67 | 23,00 | 8,56 | 69,27 | 95,93 |
| | Vbe | Sf+m | 4,04 | 15,59 | 7,96 | 69,27 | 96,85 | 0,21 | 21,67 | 8,17 | 69,27 | 93,02 |
| | Vr | Sf+m | 9,17 | 15,03 | 8,15 | 69,27 | 101,61 | 1,80 | 21,47 | 8,36 | 69,27 | 94,25 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|---------------|-----|------|-------|------|------|--------|-------|------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Lumínica | Vc | Sf+m | 15,87 | 8,39 | 8,32 | 22,76 | 55,34 | 4,87 | 12,88 | 8,35 | 22,43 | 44,35 |
| | Vbe | Sf+m | 8,03 | 7,53 | 8,11 | 23,36 | 47,03 | 1,34 | 10,82 | 7,98 | 22,94 | 40,34 |
| | Vr | Sf+m | 13,36 | 7,79 | 8,25 | 25,59 | 54,99 | 3,73 | 11,71 | 8,18 | 24,53 | 45,36 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|--------------|-----|------|-------|-------|------|--------|--------|------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Térmica | Vc | Sf+m | 11,79 | 13,85 | 8,19 | 69,27 | 103,10 | 3,22 | 19,35 | 8,32 | 69,27 | 94,52 |
| | Vbe | Sf+m | 4,31 | 13,75 | 7,89 | 69,27 | 95,22 | 0,36 | 18,01 | 7,96 | 69,27 | 91,27 |
| | Vr | Sf+m | 9,55 | 13,43 | 8,10 | 69,27 | 100,35 | 2,33 | 18,26 | 8,17 | 69,27 | 93,12 |

| | | | N | | | | | S | | | | |
|-----------------------|-----|------|-------|------|------|--------|-------|------|-------|------|--------|-------|
| | | | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT | Cal. | Frío | Lat. | Ilum.. | TOT |
| Opt. Lumínico-térmica | Vc | Sf+m | 16,63 | 6,96 | 8,31 | 22,59 | 54,49 | 5,87 | 10,35 | 8,20 | 22,42 | 43,73 |
| | Vbe | Sf+m | 8,61 | 6,17 | 8,12 | 23,19 | 46,09 | 2,03 | 8,48 | 7,89 | 22,93 | 39,51 |
| | Vr | Sf+m | 13,99 | 6,57 | 8,25 | 25,33 | 54,14 | 4,75 | 9,54 | 8,09 | 24,55 | 44,90 |

En donde se observan, de promedio, reducciones del consumo global del 49% en orientación N, y hasta del 56% a S, casi idénticas de las obtenidas para los casos de la fachada F00.

Los resultados para los casos de esta fachada F06 muestran tendencias parejas a las obtenidas en las fachadas F00 y F05, con valores más parecidos a los de la F00, y tendencias, en cuanto a gobernanza de consumos por usos, equivalentes a los de la F05 (llegando a predominar el consumo de calefacción a N en la optimización lumínico-térmica, y tendiendo al equilibrio a S para los resultados del mismo escenario de optimización).

De forma gráfica, se observan estos resultados en la figura 70.

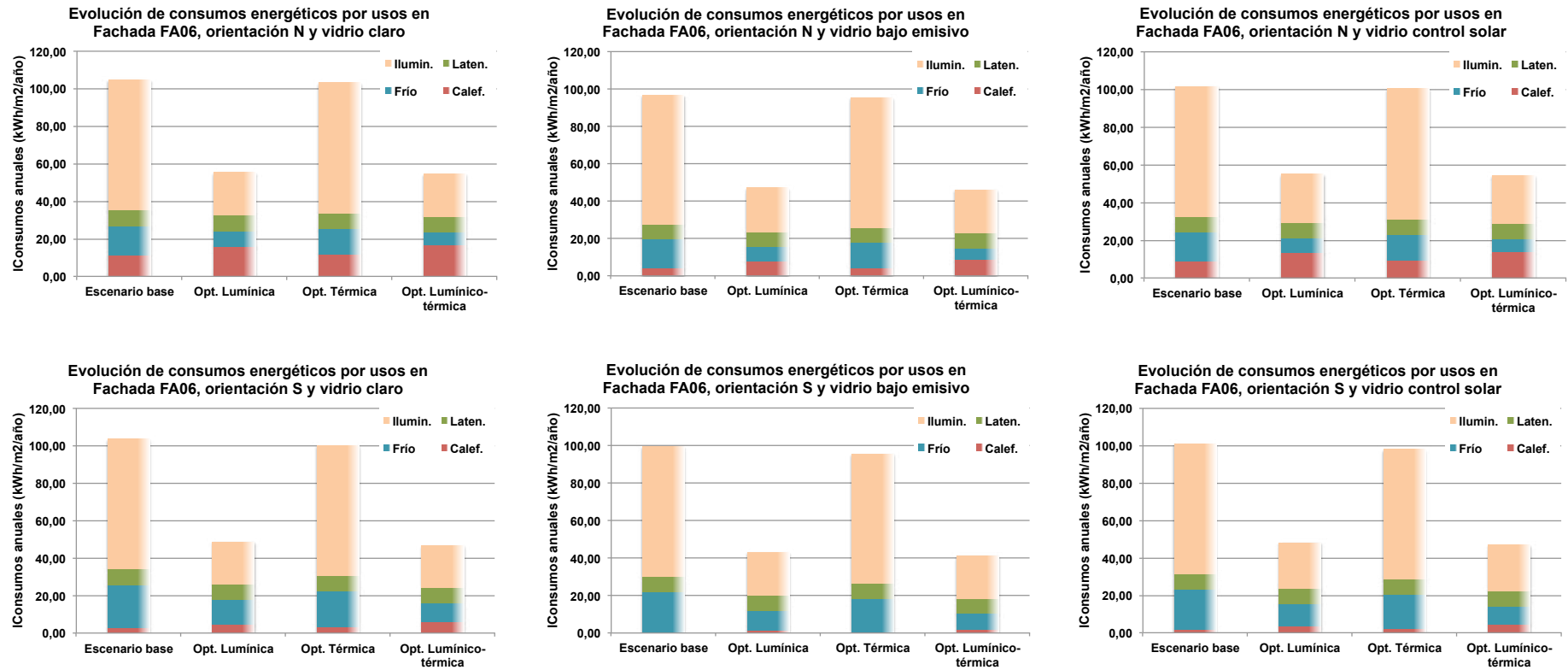


Figura 70. Consumos por usos (kWh/m² de superficie útil y año) comparados entre escenarios y ordenados por orientaciones N y S y tipologías de vidrio en casos de la fachada FA06. Fuente: elaboración propia

En donde cabe recordar que, las apreciaciones observadas se realizan en el marco de una muestra de la totalidad de casos de análisis que, aunque se consideran representativos, no recogen singularidades que pudieran existir.

4.4.2. RESULTADOS GLOBALES COMPARADOS ENTRE ESCENARIOS

En última instancia, se considera que la valoración global de los datos comparados entre los distintos escenarios, aporta información relevante al estudio. Considerando que para cada escenario se han mostrado los resultados de todos los indicadores, y que se han comparado casos específicos desde la perspectiva de consumos por usos, se muestran a continuación la comparativa directa de dos de los principales indicadores de evaluación: el consumo total de energía final y el coste de vida útil anualizada por casos de estudio de los escenarios.

Para ello se usan representaciones gráficas con códigos de colores que, a diferencia de las anteriores, representan una sola variable con sus valores por escenarios en las distintas columnas. Igualmente se ha ampliado la escala de colores en un rango, para poder abarcar los distintos ordenes de magnitud observados en estos indicadores por escenarios.

Resultados globales de consumo en energía primaria comparados entre escenarios

En relación al consumo global de energía primaria, entendido como la suma de los consumos de calefacción, de frío sensible y latente, y de iluminación, se tiene,

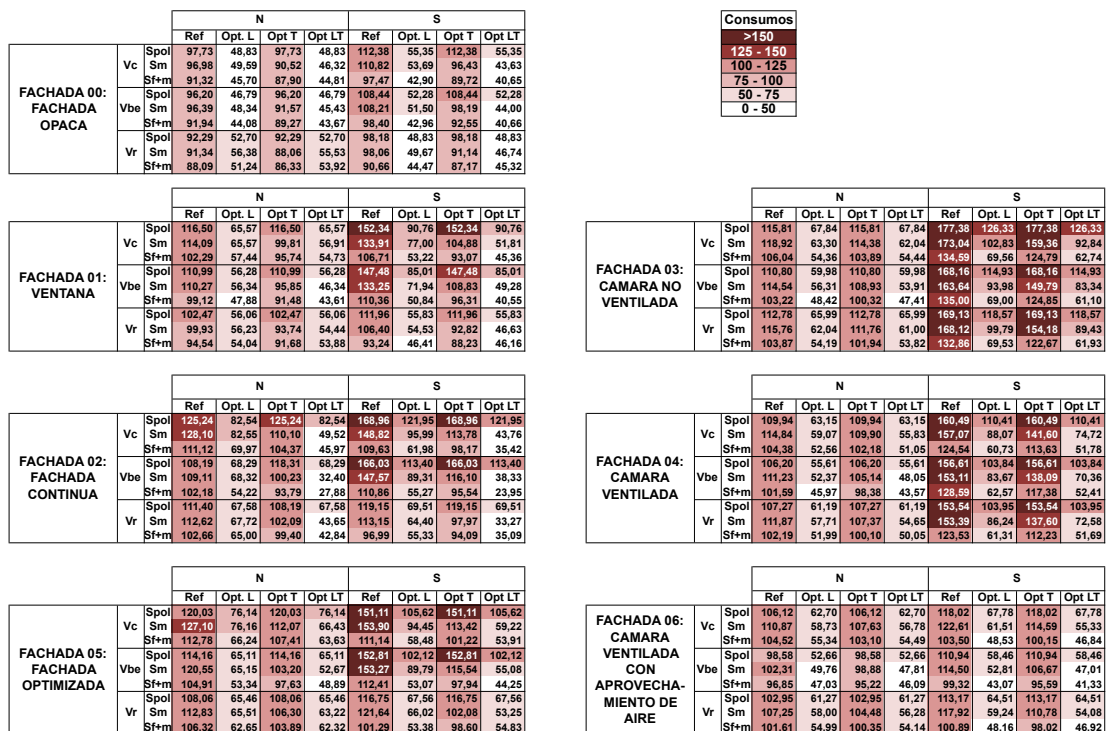


Figura 71. Representación gráfica de los consumos de energía primaria comparados entre escenarios de análisis, agrupados por fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

En donde,

- ✓ A nivel de solución integral independiente de orientaciones, la F00 no solo parte de las consumos más reducidos, si no que en su optimización, también alcanza los valores mínimos. En segunda instancia, la F06 tiene un comportamiento semejante, tanto en valores del escenario de referencia, como en las sucesivas optimizaciones.
- ✓ Es remarcable que las soluciones de ventana corrida (F01) y las de fachada continua (F02), pese a partir de unos consumos del escenario de referencia comparativamente elevados, alcanzan con la optimización valores del mismo orden de magnitud que los casos más óptimos (los de F00). Entre ambas, y como echo diferencial, en los casos de F02 este efecto se reproduce independientemente de las orientaciones.
- ✓ En última instancia, y pese a alcanzar una notable reducción de consumos, las fachadas de hoja simple optimizada (F05), y de doble hoja sin operación (F03 y F04) se erigen como las que copan los consumos más elevados de todos.

Esto es, más allá que las distintas optimizaciones analizadas consiguen reducir el orden de magnitud de los resultados de consumos energéticos, las tendencias se mantienen tanto a nivel de soluciones de fachadas, como de vidrios y de elementos de sombra, aunque con diferencias más acotadas.

Resultados globales de costes de vida útil anualizados comparados entre escenarios

De forma análoga, y para los costes de vida útil anualizados, se tiene

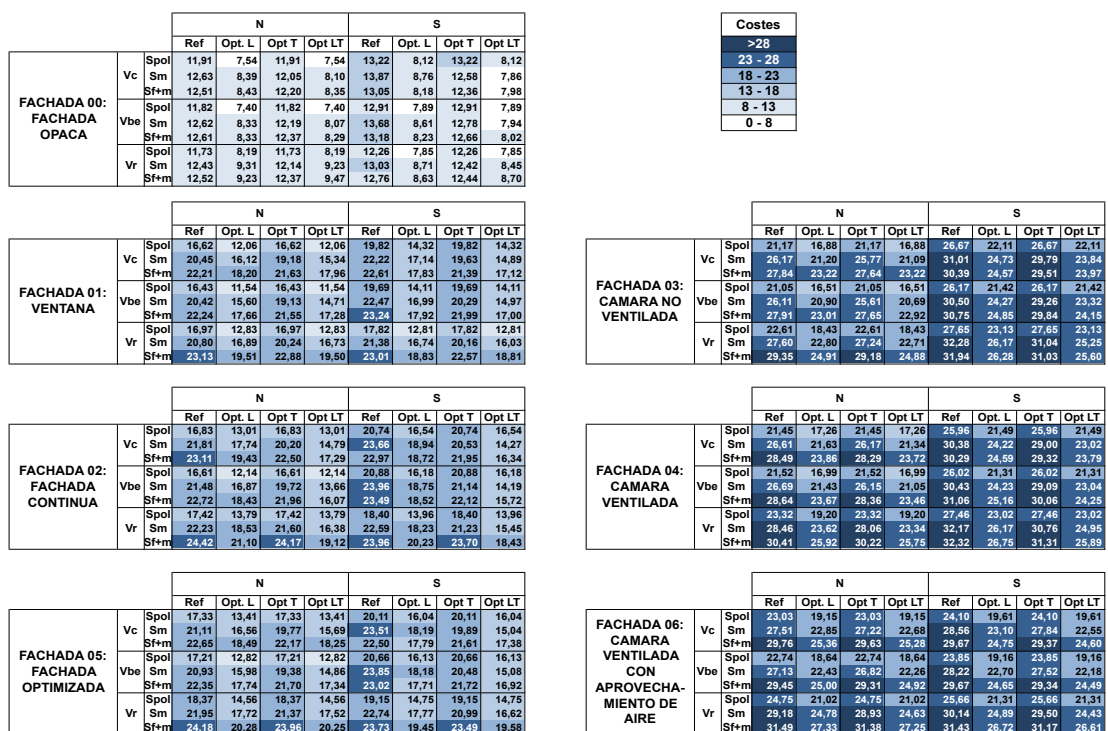


Figura 72. Representación gráfica de los costes de vida útil comparados entre escenarios de análisis, agrupados por fachadas y orientaciones. Fuente: elaboración propia

En donde,

- ✓ Las fachadas F00, con unos CVUa inferiores de partida, obtienen las valoraciones más acotadas en costes también en los distintos escenarios de optimización.
- ✓ Por el contrario, y tal como se ha observado escenario a escenario, las fachadas F06, y pese a alcanzar una reducción de costes económicos en el proceso de optimización, conservan costes comparativamente elevados por el fuerte impacto de inversión que requieren.
- ✓ Los casos de las fachadas F01 y F02, que en consumos de energía llegaban a alcanzar reducciones con valores equivalentes a la referencia F00, en costes duplican, de promedio, esa referencia. A este nivel, las fachadas F05 e sitúan en una posición equivalente, tanto en los valores de referencia, como en los de los escenarios de optimización.
- ✓ Finalmente el resto de fachadas con composición de doble hoja (F03 y F04), pese a alcanzar una reducción evidente en costes entre escenarios, continúan siendo claramente superiores a la referencia con valores, de promedio, 3.5 veces más elevados.

En resumen, también en la valoración de costes según escenarios, se mantienen las mismas tendencias observadas en costes del escenario base, tanto por fachadas como por soluciones de vidrios o de elementos de sombra aunque, nuevamente, con diferencias más reducidas.

De todo lo anterior se constata que, pese al potencial en reducción de consumos energéticos y costes económicos de las distintas medidas de optimización analizadas independientemente de la tipología de fachada, las directrices establecidas en los casos de referencia (escenario base), se mantienen invariables en una visión global. Evidentemente resulta inviable constatar que no exista una solución específica que, considerando un diseño de detalle en base a fachadas transparentes de piel simple o doble hoja, alcancen valores de consumos y costes semejantes a la referencia establecida. Sin embargo, si que se cree demostrado que ello sería una singularidad en un contexto claramente adverso, tanto en costes, como en consumos y, por ende, en cumplimiento normativo.

CAPÍTULO 5. CONCLUSIONES Y FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

De un estudio de las características de una Tesis doctoral, se derivan múltiples conclusiones, algunas de las cuales superan el ámbito previsto dibujando líneas de trabajo futuras. En este capítulo se sintetizan tanto las principales conclusiones obtenidas en el seno de la Tesis, como algunos de los trabajos desarrollados y planteados a partir de estas, tanto a nivel técnico, como académico y profesional.

CAPÍTULO 5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. SOBRE LA METODOLOGÍA

Más allá de valoraciones de detalle esgrimidas en el capítulo de Metodología, del procedimiento llevado a cabo, el Doctorando cree relevante destacar la relevancia del uso de datos de campo, el potencial del uso de herramientas de simulación acopladas, así como los formatos desarrollados de visualización de resultados.

Aunque no resulta en el foco principal de la Tesis la obtención y análisis de datos y casuísticas reales en el diseño y operación de los edificios, se valora la relevancia de estos procesos en la obtención de radiografías fehacientes del comportamiento energético, económico y el confort de edificios. Siendo esta una constatación conocida, el echo es que estas valoraciones no se consideran ni en los procesos de edificación (en especial en rehabilitación), ni en las normativas del sector. A pesar de las limitaciones evidentes de los datos reales obtenidos se cree demostrado, cuando menos, la existencia de una problemática real de afectación a distintos niveles del sector de la edificación, de forma directa a usuarios y propietarios-gestores de edificios de este uso. En la muestra de edificios representativos analizados, un porcentaje relevante de los usuarios (un 75% en entretiempo, 50% en verano y 35% en invierno) se consideran en situaciones de desconfort térmico, derivados de un dimensionado deficiente de los sistemas de clima, así como de una complejidad en la operación de los mismos en edificios que, como se ha demostrado, resultan profundamente influenciados a las condiciones exteriores. Por su parte de las valoraciones de las monitorizaciones, aunque acotadas temporalmente, no solo se confirman algunos de los escenarios de las encuestas, si no que se valoran las distancias entre las consignas reales y los valores teóricos empleados. Todo ello resulta relevante tanto en el diseño de los edificios, y el dimensionado de sus sistemas energéticos, como en la valoración normativa de la calidad de estos que, en última instancia, pretende que los edificios consuman lo menos posibles dadas unas condiciones de confort. Aunque la Tesis

no valora cuantitativamente el impacto energético y económico que esta distorsión entre realidad y marco teórico pueda tener, de otros estudios es conocido que la misma es suficientemente relevante como para tenerla en consideración, en especial en edificios con elevada intensidad de uso [TOBEEM, 2014]. De todo ello, parecería razonable que en el diseño de edificios se requiriera un análisis de sensibilidad del edificio en distintas condiciones de operación y, sobretodo, que los procedimientos de certificación consideraran datos reales, vía monitorización o análisis de facturación, tanto para edificios de nueva planta (en base a un primer año de operación) y existentes.

Por otra parte, y a pesar de la existencia de múltiples herramientas de simulación, la mayoría de estas quedan orientadas a un tipo concreto de consumos (térmicos o lumínicos), y las que tratan ambos a la vez lo hacen de una forma simplificada, sea en profundidad (sin análisis por trazo de rayos, por ejemplo), o en adaptabilidad (por rigidez de los modelos). Por su parte, la Tesis demuestra que no existe una priorización de consumos (entre térmicos y lumínicos) sino una combinación de ambos. De lo anterior, la combinación de herramientas de simulación permite no solo la valoración correcta de los consumos de forma individual, sino de las interacciones entre estos. Aunque no se demuestra de forma fehaciente el potencial de esta combinación de herramientas comparado con el uso de otras, sí que se valora el peso de las distribuciones de resultados que, juntamente con las valoraciones referenciadas de las herramientas utilizadas, permiten determinar indirectamente la relevancia de esta metodología. La misma comporta un aumento considerable de recursos, más en duplicación de modelos que en tiempo de simulación, pero su integración resulta fácilmente replicable y útil en análisis como el propio, o en el diseño de escenarios de mucho detalle, más allá del uso de herramientas de certificación, con otras finalidades.

Finalmente, los formatos desarrollados de visualización de resultados, mediante paletas de colores e intensidades asociadas a valores, resultan en una herramienta eficiente en la observación de tendencias sobre una globalidad. Si bien es cierto que este tipo de visualizaciones son una herramienta estándar de muchos procesadores de datos, no suelen ser utilizados en análisis académicos de esta índole, ni en valoraciones de conjunto de un grupo elevado de casuísticas. Los mapas cromáticos permiten representar la globalidad de resultados y su comparativa de una forma eficiente y clara, enfocando las tendencias rápidamente y, a su vez, orientando sobre los motivos de las mismas. En este sentido se plantea que este tipo de representaciones son un complemento a las valoraciones de detalle

(más orientadas a casuística pero con menos perspectiva global), o a otras representaciones de conjunto (que pueden permitir cruces de indicadores, como las de coste óptimo, pero sin detectar las causas de los valores). Igualmente se cree relevante la versatilidad de este tipo de visualizaciones en la comprensibilidad de los resultados y conclusiones, pudiendo ser útiles tanto por especialistas, como sobre todo de otros actores profesionales del sector. Las representaciones cromáticas destacan por ser una herramienta realmente útil en la consecución de los objetivos principales de la presente Tesis, de determinación de comportamientos sobre una globalidad de casuísticas y transmisión de conocimiento a otros actores del sector, y con gran potencialidad en análisis tendenciales.

5.1.2. SOBRE LOS RESULTADOS DEL ESCENARIO BASE

El doctorando sostiene, como hipótesis principal a demostrar, que el uso de los edificios de oficinas de estructura ligera y proporciones elevadas de huecos en un entorno Mediterráneo, comporta consumos de energía primaria más elevados y condiciones de confort de usuarios peores que en edificios que, con el mismo uso, se diseñan con estructuras más pesadas y fachadas más opacas.

En primera instancia, las demandas térmicas sobre la que descansan los mencionados consumos resultan significativamente elevadas, en comparación a referencias locales como el Plan Energético de Barcelona. Del análisis se desprende que esta consideración es debida a las elevadas demandas de refrigeración, hasta 4 veces superiores en promedio a las de las referencias mencionadas. Ello se entiende que es debido, principalmente, a que los edificios aquí analizados corresponden a una tipología, la de elevada proporción de huecos, distinta a la habitualmente referenciada, más opaca. Efectivamente, los edificios con proporción de hueco elevada, y en especial los de doble hoja, tienen requerimientos de refrigeración significativamente más elevados, entre el 81 y el 142%, que los edificios más opacos (los correspondientes a la denominada fachada F00). La única excepción observada a esta tendencia es la de las fachadas de piel doble con reaprovechamiento de la ventilación forzada (las denominadas fachadas F06), con demandas similares a las soluciones más opacas. Esta tendencia en demandas por tipologías de fachadas se observa independientemente de las variaciones de otros parámetros, como el tipo de vidrio o los elementos de sombra, y para las distintas orientaciones; aunque existen soluciones como los vidrios reflejantes ligeros o el uso de elementos de sombra fijos y móviles, que favorecen la reducción de demandas, más cuanto más elevada sea la referencia, ello

implica una reducción de las demandas en valor absoluto, pero no un cambio en las tendencias apreciadas por fachadas.

Aunque las tendencias mencionadas son para las demandas de refrigeración, un análisis sobre los consumos, que permite la comparativa entre distintos usos de la energía, confirma las mismas. Efectivamente, la distribución de consumos determina un peso promedio por orientaciones de la iluminación de aproximadamente el 69%, mientras que la refrigeración alcanza un 25%, quedando la carga latente (6%) y la calefacción (1%) como consumos residuales. Siendo en el escenario base los consumos de iluminación constantes para todos los casos de análisis, queda claro que los consumos de refrigeración son los que marcan las tendencias globales, independientemente de pequeñas variaciones que se producen en los consumos de calefacción (en los que se produce una permuta en la posición de grandes consumidores entre las fachadas de piel simple y elevada proporción de hueco y las de doble piel, aunque ambas continúan situándose en peores condiciones que la referencia opaca). En valores concretos, los consumos promedio de refrigeración varían entre los 26 y 55kWh/m²/año por orientaciones y según tipología de fachada, siendo el promedio global de 46kWh/m²/año. El consumo final de promedio de calefacción, en cambio, resulta en un valor significativamente más reducido de 2kWh/m²/año, y los de carga latente de 8kWh/m²/año. Considerado los consumos de iluminación, se obtienen consumos globales de 126kWh/m²/año, con valores de entre 95 y 160kWh/m²/año, para los promedios de fachadas opacas orientadas a N y fachadas de doble piel sin ventilación forzada a S respectivamente. Más allá del orden de magnitud, resulta relevante la diferenciación de consumos por fachadas, con consumos globales significativamente más reducidos en fachadas opacas que en las fachadas más transparentes, y una menor dispersión de resultados en las primeras. Esto último resulta relevante puesto que es un indicador de la vulnerabilidad del consumo energético de las soluciones con mayor proporción de piel a las condiciones ambientales y, de esta forma, resulta en un indicador de la complejidad de su diseño óptimo. Así, en fachadas opacas los valores promedio globales de consumo se sitúan en 102kWh/m²/año, con desviaciones estándar de 10kWh/m²/año, mientras que las soluciones con mayor proporción de hueco se sitúan en la horquilla de 126-142kWh/m²/año y desviaciones estándar de entre 22 a 40kWh/m²/año. Cabe considerar que estos valores son relativos a plantas intermedias, menos expuestas, y sin considerar los consumos de equipamientos, ni otros comunes en este tipo de edificios (como iluminación

exterior, o consumos asociados a los aparcamientos subterráneos) que, por otra parte, son independientes de la solución de fachada.

Como reflejo de lo anterior, y de un análisis de confort, es posible constatar los problemas de sobrecalentamiento que el uso de estas tipologías edificatorias conllevan asociadas, con valores promedio de entre el 40 y el 66% de horas laborales fuera de rango. En cambio, la sensación de frío en meses de invierno es claramente inferior, con valores promedio inferiores al 10% de las horas laborales. Aunque estas valoraciones se realizan considerando la operación libre de los edificios, esto es sin valorar la existencia de los sistemas de clima, son un reflejo de la intensidad de climatización de espacios requerida y, en última instancia, los posibles focos de problemas térmicos. Desde la perspectiva del confort, la valoración del indicador lumínico resulta relevante tanto desde la perspectiva del potencial ahorro en iluminación, como en la consideración de las supuestas bondades que, elevadas proporciones de hueco puedan comportar en el ahorro de iluminación artificial. Efectivamente, los valores obtenidos de aprovechamiento óptimo de la iluminación natural constatan, juntamente con el consumo energético asociado a este uso, el relevante potencial de ahorro energético para este uso. De esta forma, se aprecian valores promedio, para todos los casos de análisis, del 54% de horas laborales en que existe potencial de aprovechamiento de iluminación. Del análisis de detalle, se constata que existe un mayor potencial de ahorro en los edificios con mayor proporción de hueco, aunque este queda condicionado por una mayor tendencia a los deslumbramientos. Así, los edificios con mayor proporción de hueco en fachada tienen un potencial de ahorro a distancias cortas de la misma (a 2 metros) más elevados (de 52 a 60% de las horas laborales según tipo de fachada) que las soluciones más opacas (de 48% de las horas laborales de promedio respectivamente). Estas tendencias se acentúan en profundidad (a 6 metros de la piel) con valores promedio de 25% de las horas laborales para soluciones opacas, y entre el 55 y el 61% para soluciones más transparentes. Sin embargo estas valoraciones promedio resultan muy dependientes según orientaciones, de manera que los valores por fachadas se uniformizan en orientaciones más expuestas (como sur), mientras que se acentúan en orientaciones más protegidas (como norte), como reflejo del equilibrio entre posibilidades de captación lumínica y deslumbramientos. Aunque también se dan variaciones según tipos de vidrios y elementos de sombra, estas se constatan en especial a profundidad de fachada.

De todo lo anterior, sin embargo, cabe introducir la variable económica entendiendo que esta también condiciona la existencia de las distintas tipologías de edificios de oficinas, tanto debido a la inversión inicial, como en la operación directa o indirecta (en base a alquiler de terceros) de los mismos. De esta forma el análisis concluye que las soluciones más opacas tienen unos costes de operación (derivados de los consumos energéticos) claramente inferiores a las soluciones más transparentes, con la excepción de las fachadas de doble piel con ventilación reaprovechada. Sin embargo al observar los costes de inversión, y mientras la tendencia continúa siendo de mínimos en fachadas opacas, se dispara para el resto de soluciones más transparentes, en especial para las de doble hoja e incluyendo las operadas con reaprovechamiento. Esto es, aunque los costes de operación sean semejantes entre las fachadas opacas y las transparentes de doble hoja con reaprovechamiento (con valores de 11,7 y 12,5€/m² respectivamente), los de inversión son claramente distintos (de 113,2 y 515,5€/m² respectivamente), de forma que queda condicionada toda la vida útil (con valores de 12,8 y 26,8€/m² anualizado). Además, y como ocurre a nivel de consumos energéticos, la dispersión de resultados es menor, tanto en inversión como en el conjunto de vida útil, para las soluciones opacas en comparación al resto. En comparación a la tipología de fachada, el resto de parámetros de análisis resulta poco relevante en el análisis de costes, con variaciones del coste de vida anualizado entre los distintos casos del 4%, según tipología de vidrios, al 12%, según elementos de sombra. De todo ello se concluye que las soluciones más opacas resultan más económicas tanto a nivel de inversión, como de operación y, en general más rentables en el análisis global de su vida útil.

5.1.3. SOBRE LOS RESULTADOS DE LOS ESCENARIOS OPTIMIZADOS.

Más allá de las evaluaciones de detalle, las variaciones en aprovechamiento lumínico y térmico de los denominados escenarios optimizados, en relación al escenario base, comportan una reducción de consumos, y de costes, aunque manteniendo las mismas tendencias globales. Esto es, a pesar que las distintas medidas adoptadas consiguen rebajar sustancialmente los consumos energéticos, las soluciones con menos consumos y costes asociados son las correspondientes a las fachadas más opacas (F00), mientras que el resto se mantienen con consumos (de F02 a F05) y costes (de F02 a F06) mayores. En orden de magnitud, las distintas optimizaciones analizadas obtienen reducciones de consumos energéticos globales promedio del 50% que, a pesar de ser una mejora considerable, resulta

todavía en unos valores significativamente más elevados que las referencias para esta zona climática (a excepción de las soluciones opacas). Estas reducciones no son tan elevadas, aún siendo relevantes, en el caso de considerar los costes, en donde se obtienen reducciones de entre el 17% (caso de las soluciones F06) y el 36% (caso de las soluciones F00), con valores promedio del 24% (para todos los casos y tipologías de fachadas). Igualmente, y siendo este un cambio de tendencia en relación al escenario base, la optimización de consumos comporta que el uso energético predominante sea, de promedio, el de refrigeración (42%) por encima del de iluminación (35%) y los de latente y calefacción (14 y 9% respectivamente). Sin embargo esta predominancia ocurre para los edificios más consumidores (de F01 a F05), mientras que en los de menor consumo (F00 y F06) continúan teniendo un mayor peso los consumos de iluminación. En todos los casos, la orientación condiciona la distribución de consumos por usos, por lo que debe considerarse este parámetro en la lectura de detalle.

En conclusión, a pesar que los escenarios de optimización consiguen reducir los consumos, y en parte los costes, a valores más razonables, se mantienen la mayoría de las tendencias. Esto es, los edificios con fachadas más opacas, continúan siendo los que tienen un mejor comportamiento energético y económico, mientras que los que tienen elevada proporción de hueco, continúan teniendo un mayor consumo energético (todos menos F06) y económico (todos incluyendo F06)

5.1.4. CONCLUSIONES GENERALES

La Tesis parte de la constatación [BPIE, 2014] del elevado consumo de edificios de uso de oficinas, tanto en intensidad energética como en valor absoluto, solo por detrás de las construcciones de uso residencial, con mucha mayor superficie construida en nuestra latitud. Igualmente, y en este caso se considera una hipótesis de partida, las condiciones de diseño y operación de edificios de este uso resulta en índices de confort térmico y lumínico inferiores a los óptimos. Más allá de las molestias que ello comporta a los usuarios en prolongadas estancias, también deriva en pérdidas económicas directas de la actividad principal que se desarrolla en este tipo de edificios [Fisk y Rosenfeld, 1997; Haynes, 2008].

La Tesis demuestra, en el contexto dibujado, la veracidad de la hipótesis en base al análisis de casos teóricos y escenarios de operación que representan un amplio abanico de soluciones de edificios de oficinas. En condiciones consideradas de carácter normativo, los

edificios de oficinas con soluciones estructuralmente pesadas y fachadas más opacas resultan en consumos de energía primaria más reducidos y costes, tanto en inversión como en vida útil, inferiores respecto a casos de estructuras más ligeras y mayor proporción de huecos en fachadas.

Como premisa de las principales conclusiones obtenidas, cabe destacar que las mismas se obtienen del marco de análisis planteado. Ello, que puede resultar una evidencia, se estima relevante en este caso en que se analizan una serie de casuísticas que dependen, en gran medida, de la latitud en donde se ubica el estudio. Esto es, tanto los comportamientos de los edificios reales monitorizados, como la propia definición de las soluciones arquitectónicas y constructivas estudiadas, o los condicionantes de entorno utilizados, son característicos de un entorno Mediterráneo. Sin entrar a valorar otros condicionantes específicos del proceso de construcción y vida útil de los edificios, como la formación del sector y la calidad constructiva estrechamente relacionadas con patologías de la edificación, la ubicación geográfica del análisis condiciona los resultados específicos del mismo y, cuando menos, orienta las conclusiones a este contexto determinado. Ello no comporta, sin embargo, que las principales directrices establecidas sean solo válidas en este contexto, si no que sus valoraciones de detalle son específicas del mismo. De echo, algunas de las conclusiones principales se reiteran en otros estudios del doctorando (ver capítulo de futuras líneas de investigación) o de terceros [Poirazis, H., 2008] para otras latitudes con climas y realidades del sector diversas.

La conclusión principal resulta relevante en un contexto en que existe una presión creciente en minimizar el impacto del uso de edificios, también de forma directa en un mercado muy competitivo. Esto se constata tanto a nivel de políticas y normativas, tanto europeas como a nivel de país, como de directrices de mercado, a través de la expansión de acreditaciones medioambientales, como de intereses específicos de las entidades propietarias y gestoras, con una subida continuada de los precios de la energía, tanto en los años precedentes como, según todas las previsiones de país y continente, en los años futuros.

A este último nivel, y más allá de costes no considerados como los del suelo u otros intangibles relacionados con la imagen corporativa de edificios, también se demuestra el fuerte impacto que tienen los edificios de oficinas más ligeros y con mayor proporción de huecos. Dicha constatación afecta no solo a los costes en el ciclo de vida útil de los edificios, sino que también se demuestra en relación a los costes de inversión. Desde la perspectiva holística considerada, los costes de vida útil del ciclo de vida deberían marcar

las tendencias, aunque la consciencia de la realidad de mercado, en la que los costes de inversión resultan, a menudo, muy relevantes, la demostración que estos también siguen las mismas directrices pasa a posicionar esta conclusión en una de las más relevantes.

Se demuestra, además, que estas tendencias permanecen invariables a distintas consideraciones de optimización en la gestión energética básica. Esto es, suponiendo un comportamiento y operación ideales de los edificios, aunque en estos se prevean medidas de optimización energética que permiten reducir la factura directa, los resultados finales obtenidos mantienen, de forma relativa, las mismas conclusiones iniciales. Aunque los procesos de optimización básica de la gestión aparezcan casos singulares en los que se alcanzan consumos equivalentes a los de edificios con menor proporción de huecos en fachada, los costes de ciclo de vida nunca se rebajan hasta la referencia.

De toda la demostración se concluye, igualmente, la posible existencia de casos singulares de edificios ligeros de elevada proporción de huecos que alcancen comportamientos energéticos, y en menor medida económicos, equivalentes a edificios más convencionales. Sin embargo, se remarca que estos casos resultan claramente singulares, en un contexto de una generalidad que se orienta en otras direcciones. De esta forma, y considerando el número limitado de casos de análisis, se estima la posibilidad de diseñar casos de edificios de oficinas ligeros y de elevadas proporciones de huecos que sean energética y económicamente viables y eficientes, aunque se demuestra que estos son muy poco frecuentes y que, por tanto, requieren de un nivel de excelencia en el diseño, ejecución y operación de los mismos que parece lejano a las prácticas habituales en nuestra latitud.

Finalmente, y aunque el análisis se ha focalizado en indicadores relativos al uso de los edificios, se entiende que las conclusiones son válidas, y como tales deberían ser consideradas, para la mayoría de los actores que participan en el proceso de diseño, ejecución, operación y uso de los edificios. Si bien es cierto que existen ciertas tendencias en el diseño de sistemas inteligentes de generación y operación energética óptimas, y que el usuario final es responsable también del consumo energético, se estima que el diseño y correcta ejecución de los edificios son un punto de partida fundamental en el camino a edificios de energía casi nula.

CAPÍTULO 5.2. FUTURAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

La Tesis presentada se enmarca en la actividad profesional del Doctorando, con más de 15 años de experiencia en el sector energético en edificación. De esta forma, antes, durante y después del desarrollo de la Tesis, el Doctorando ha participado y dirigido proyectos específicos de diseño y optimización del comportamiento energético de edificios de oficinas en distintas latitudes. Sin embargo, de los desarrollos específicos establecidos en la presente Tesis, derivan dos estudios que, de forma específica, llevan a cabo análisis de investigación estrechamente ligados.

5.1.5. ANÁLISIS DE EDIFICIOS DE OFICINAS DE NUEVA PLANTA EN CLIMA CONTINENTAL DEL SUR DE EUROPA

Paralelamente al desarrollo metodológico de la Tesis, el Doctorando lideró un equipo de profesionales (de AIGUASOL, ALIA y DUCH, y con asesoramientos puntuales de Servando Álvarez de AICIA) en el estudio del comportamiento energético y económico de edificios de oficinas en Madrid, en el horizonte de los objetivos de la EPBD para 2020. El estudio, realizado entre finales de 2011 hasta finales de 2013, ha sido cofinanzado por distintas entidades públicas y privadas en representación de varios de los actores que participan en los procesos de edificación; en concreto, Ayuntamiento de Madrid, Activos Renta, Asociación de Promotores Inmobiliarios de Madrid (Asprima), Desarrollo Urbanístico de Chamartín (DUCH), Gas Natural, Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE), Jones Lang LaSalle, LKS, Remica, Tyspa, Uponor y Yesos Ibéricos. El análisis parte de las principales premisas establecidas en la presente Tesis, aunque amplifica el foco del estudio, tanto en amplitud de casuísticas como en profundidad de los datos de partida y los resultantes de estudio. De esta forma, el objetivo principal del estudio es la determinación de los límites razonables, económica y energéticamente, a los que puede llegarse en edificios eficientes de oficinas en Madrid, así como con el establecimiento de criterios fehacientes de diseño para alcanzar los mencionados límites de consumo. De ello se derivan los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Evaluar y modelar los pesos de los distintos factores que afectan al ciclo de vida energético de los edificios de oficinas, prestando especial atención a las condiciones reales de construcción y operación de las edificaciones.

- ✓ Desarrollar las herramientas y conocimientos que, fruto de una visión y análisis sistemáticos de los distintos elementos a considerar en este tipo de edificios, sienten las bases apriorísticas de la sostenibilidad de los edificios de oficinas.
- ✓ Definir directrices y una metodología que permitan sintetizar, en un lenguaje comprensible a los actores implicados y centrándose en las fases iniciales de diseño, los conocimientos energéticos a considerar, y que sean un guión a seguir en el diseño y uso de este tipo de construcciones.
- ✓ Dimensionar y demostrar la importancia de la correcta gestión y uso de edificios de oficinas, y fomentar la participación de los distintos actores en las fases iniciales de diseño de este tipo de construcciones.
- ✓ Dimensionar y parametrizar la relación entre los costes energéticos y económicos en función del diseño, gestión y uso de los edificios de oficinas.

El estudio se ha llevado a cabo considerando la metodología establecida en la EPBD de costes óptimos, en base a las siguientes fases de trabajo,

Fase 1. Monitorización y test en edificios de referencia, y calibración de herramientas de análisis. En esta fase, se monitorizan variables de demanda y se llevan a cabo test de infiltración en 6 edificios de oficinas de Madrid. Los edificios son representativos de diversas soluciones arquitectónicas y constructivas y, a excepción de uno de ellos, datan de fechas posteriores a la entrada en vigor de la normativa de la edificación de 2007. Los objetivos de esta fase son determinar la existencia y alcance de patologías de la construcción, constatar la operación real de estos edificios, y constatar hipótesis que permitan reproducir, con modelos matemáticos, el comportamiento energético y económico de estas construcciones.

Fase 2. Definición de casos de referencia normativa y análisis resultados de coste óptimo. De forma paralela a la fase anterior, se trabaja en esta en la definición de casos de referencia normativa, en base al cruce de diversas soluciones arquitectónicas y constructivas que definan un amplio abanico de soluciones de edificios de oficinas en esta latitud. Variando parámetros como la tipología de fachada, el porcentaje de huecos, la solución de materiales, la orientación, o el perfil de planta, se obtienen 14.000 escenarios (combinados en 4.000 plantas tipo de edificios de oficinas). El objetivo final de esta fase es determinar el comportamiento energético y económico de estos casos, bajo condiciones normativas tanto de definición como de uso de los mismos. El análisis se realiza siguiendo el procedimiento metodológico recomendado de coste óptimo.

Fase 3. Análisis de factores de peso más allá de las soluciones constructivas y arquitectónicas. En una última fase, se analizan los pesos, en los resultados de coste óptimo, de otros factores relevantes relacionados con los sistemas de generación y difusión energética, la gestión energética, las patologías de la edificación, y la evolución de los precios de la energía y del dinero. Ello se realiza en base a una muestra representativa de los escenarios de referencia de la Fase 2, de 700 casos (plantas tipo de edificios de oficinas). El objetivo es determinar los pesos de estos factores por si mismo, y de forma comparada.

La metodología utilizada, en base al cálculo de coste óptimo, se desarrolla mediante el uso de TRNSYS y DaySim según modelización con Sketchup para el cálculo de las demandas térmicas y consumos de iluminación. Las simulaciones se realizan por un proceso de parametrización de los modelos con Python, que permite estandarizar baterías de simulaciones llevadas a cabo con técnicas de cloud computing, mediante el uso de servidores Amazon. Los resultados de las simulaciones se postprocesan considerando, por una parte, los rendimientos de las instalaciones tipo definidas, y por otro los factores de paso de energía final a energía primaria normativos. En todos los casos la referencia de partida son los valores límite establecidos en la normativa de edificación y de certificación de edificios de nueva planta. En relación a las valoraciones económicas en base a costes asociados en la vida útil, se consideran las recomendaciones de la CE en la aplicación de la EPBD 2010, así como una base de datos de costes de materiales generada ex proceso para el análisis, en base a bases existentes del mercado español. Igualmente se ha considerado una evolución de los costes de la energía, según indicaciones específicas del Ministerio de Fomento.

De todo lo anterior, se ha generado un estudio que se considera que ha superado las expectativas previstas originalmente, siendo utilizadas algunas de su resultados en consideraciones de organismos regulatorios de normativa de la edificación. De la documentación generada, y representada en más de 10 informes sectoriales, durante el año 2014 se presenta la parte pública de la misma, el resumen ejecutivo, en distintos foros y congresos. Dicho documento, que recoge los principales resultados y conclusiones, puede encontrarse en <http://aiguasol.coop/2014/02/17/proyecto-tobeem/>.

5.1.6. ANÁLISIS DEL POTENCIAL DE REHABILITACIÓN Y GESTIÓN ENERGÉTICA EN EDIFICIOS DE USO ADMINISTRATIVO EN CLIMA CANTÁBRICO

Desde finales de 2013 el Doctorando está liderando un estudio, financiado por el departamento de medio ambiente de la Diputación Foral de Gipuzkoa, por el que se pretende establecer la caracterización energética y económica fehaciente de edificios de uso administrativo en clima cantábrico.

En base a una metodología de trabajo paralela a la establecida en el caso del análisis en Madrid, en este caso se establecen los siguientes objetivos principales:

- ✓ Determinación de las problemáticas actuales de la factura energética de los edificios seleccionados, así como la viabilidad de medidas de rehabilitación y de operación eficiente en los mismos. El análisis pretende establecer la distribución por usos de los consumos actuales, el seguimiento de los mismos en formato mensual, los factores de peso que determinan dichos consumos, y la rentabilidad energética y económica de las distintas propuestas orientadas de mejora. Así mismo se determinará el grado de certificación energética presente y futura en base a las propuestas de rehabilitación.
- ✓ Determinación del comportamiento energético de las tipologías representativas de grandes edificios administrativos y de oficinas, así como la viabilidad de propuestas de mejora para dichos casos tipo en la provincia de Gipuzkoa. El análisis establecerá, en base a casos concretos, las curvas de comportamiento genéricas que relacionen la factura energética con los elementos de caracterización de los edificios (cerramientos, usos, y perfiles). Dichas curvas definirán o establecerán las horquillas de consumos por usos. A partir de las mismas, se establecerán igualmente las viabilidades de actuaciones de rehabilitación por usos de edificios, así como los grados de mejora en certificación derivadas de las mismas.
- ✓ Determinación de las bases de políticas orientadas de subvenciones y actuaciones para escenarios de rehabilitación a nivel provincial, tanto en formato público como PPP. A resultados de los análisis desarrollados, se podrá extrapolar los valores, tanto actuales como de rehabilitación, al parque tipológico de la provincia, determinando las actuaciones óptimas en cada caso, los márgenes de las mismas, y los posibles escenarios de futuro.

Desde el punto de vista académico, la evolución de este estudio es la generación de metamodelos que caractericen, de forma fehaciente, el comportamiento energético (en

consumos y facturas) de los edificios de uso administrativo para los edificios de análisis, y ver su posible extrapolación a edificios de la misma tipología en la misma zona climática. Los metamodelos son modelos simplificados, pero de elevada precisión, del comportamiento energético de edificios, generados en base a un análisis de sensibilidad estadístico por el que, partiendo de escenarios reales y en base a un número representativo de simulaciones dinámicas, se establecen los principales factores de peso en el comportamiento energético de los edificios. En base a ello, se correlan estos factores hasta obtener los denominados metamodelos.

El proyecto, que se prevé finalizar en 2015, se encuentra actualmente en la fase de medición de datos reales (por monitorización a largo plazo de variables de interés, y considerando resultados de test de calidad en la construcción), y en el diseño de los modelos matemáticos de los edificios a calibrar.

BIBLIOGRAFÍA Y OTRAS REFERENCIAS

BILBIOGRAFÍA Y ESTUDIOS

Abushakra, B., Sreshthaputra A., Haberl J., and Claridge, D.E. (2001). Compilation of diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations, Report RP-1093, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers.

Abushakra B., Haberl J., and Claridge, D.E. (2004). Overview of existing literature on diversity factors and schedules for energy and cooling load calculations (1093-RP), ASHRAE Transactions 110(1) 2004.

Achermann, M., Zweifel, G., (2003). RADTEST – Radiant Heating and Cooling Test Cases. University of applied Sciences of Central Switzerland. Lucerne, Switzerland.

Adalberth, K. (2000). Energy Use and Environmental Impact of New Residential Buildings. Department of building Physics, Lund University, Lund, Sweden. Report TVBH-1012.

Andersen, I. (2000). A Multi-Criteria Decision-Making Method for Solar Building Design. PhD thesis for the degree of Doctor Ingeniør at the Norwegian University of Science and Technology, Faculty of Architecture, Planning and Fine Arts, Department of Building Technology, Norway.

Anderson, R.C., (1998). Mid course correction - toward a sustainable enterprise: The Interface model. Atlanta, USA: The Peregrinzilla press.

ASHRAE, (2013a). 90.1 standard, Energy Standard for Buildings Except Low-Rise Residential Buildings. American society of Heating Refrigerating and Air conditioning Engineers, 2013. ISSN 1041-2336.

ASHRAE, (2013b). Handbook of Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, 2013. ISBN-13: 978-1936504473

AUMA (Alberta Urban Municipalities Association), (2006). Municipal Sustainability Planning Guide. Tool F: Backcasting. http://msp.munilink.net/Comprehensive_Track/Tools%3A+Downloads/Tool+F%3A+Backcasting/

Arch, R.A., Mardaljevic, J., (2005). Evaluation of shading devices using a hybrid dynamic lighting thermal model. Ninth International IBPSA Conference. Montréal, Canada, August 15-18, 2005.

Berkhout, P., Muskens, J., Velthuisen, J., (2000). Defining the rebound effect. Energy Policy 28 (2000) 425-432. © Elsevier Science Ltd.

BESTFACADES – Diseño y análisis energético de fachadas transparentes - <http://www.bestfacade.com>

Bleil, C., and Knight, I., (2007). Thermal performance simulation from an architectural design viewpoint. Building Simulation 2007 Tenth International IBPSA Conference, Beijing, China, September 3-6, 2007. p. 235.

Bourgeois, D., Reinhart, C., Macdonald, I., (2006). Adding advanced behavioural models in whole building energy simulation: a study on the total energy impact of manual and automated lighting control. Energy and Buildings, v. 38, no. 7, July 2006, pp. 814-823 doi:10.1016/j.enbuild.2006.03.002

BPIE (Buildings Performance Institute Europe), (2011). Europe's buildings under the microscope. ISBN: 9789491143014

BPIE (Buildings Performance Institute Europe), (2014). Data hub for the energy performance of buildings. <http://www.buildingsdata.eu/>

Braungart, M., McDonough, W., (2003). Cradle to cradle: Remaking the way we make things. McGraw-Hill. ISBN 0-86547-587-3

Broman, G., Holmberg, J., and Robèrt, K.-H., (2000). Simplicity Without Reduction: Thinking Upstream Towards the Sustainable Society. *Interfaces* 30(3): 13-25.

CE (Commission of the European Communities), (2008). Energy efficiency: delivering the 20% target. Communication from the Commission. COM(2008) 772 final.

CE (Commission of the European Communities), (2013). Reglamento Delegado de la Comisión que complementa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética de los edificios, estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y de sus elementos. Reglamento delegado (UE) N o 244/2012 de la Comisión de 16 de enero de 2012. *Diario Oficial de la Unión Europea* 21.3.2012

Chávez, V.H., (2002). La habitabilidad energética en edificios de oficinas. Tesis Doctoral para optar a Doctor en Arquitectura, Departament de construccions arquitectòniques, Escola Tècnica Superior d'Arquitectura de Barcelona, Barcelona, España.

Chen, H., Li, D., Shao, Z. And Chan, K.T., (2007). Daylighting and lighting saving analysis of office buildings in north China. *Building Simulation 2007. Proceedings* 1227.

Claridge, D.E., and Abushakra, B., (2001). Accounting for the occupancy variable in inverse building energy baselining models, in: *Proceedings of the International Conference for Enhanced Building Operations (ICEBO)*, Austin.

Crawley, D.B., Hand, J.W., Kummert, M., and Griffith, B.T., (2005). Contrasting the capabilities of energy performance simulation programs. *Proceedings of Building Simulation IBPSA 2005, 15-18 August 2005, Montreal, Canada.*

Chrisoffersen, J. (1995). Daylight utilization in office buildings. PhD thesis, Danish Building Research Institute, Report 258.

Cook, D., (2004). The Natural Step towards a Sustainable Society. *Green Books for The Schumacher Society*. 96pp.

Degelman, L.O., (1999). A model for simulation of daylighting and occupancy sensors as an energy control strategy for office buildings, in: *Proceedings of Building Simulation '99, an IBPSA Conference, Kyoto, 1999, 571-578.*

Dreborg, K. H., (1996). Essence of Backcasting, *Futures* 28, 813-828

Ecobarri Trinitat Nova - http://www.bcn.cat/agenda21/A21_text/Fitxes/fitxa_14.pdf

The Economist, (2012). Energy efficiency and energy savings. A view from the Building sector. The Economist Intelligence Unit

- Egan, A.M., (2011). Air tightness of Australian offices buildings: reality versus typical assumptions used in energy performance simulation. 12th Conference of International Building Performance Simulation Association, Proceedings of Building Simulation 2011, Sydney, 14-16 November. 32-39 pp, 2011.
- Electrolux, (1994). Electrolux annual report 1994. Stockholm, Sweden: Electrolux; Robèrt, K.-H. 1997. ICA/Electrolux - A case report from 1992. Paper presented at 40th CIES Annual Executive Congress, 5-7 June, Boston, MA.
- Fairey, P., Parker D.S., Wilcox B., y Lombardi M., (2004). Climate Impacts on Heating Seasonal Performance Factor (HSPF) and Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) for Air Source Heat Pumps. ASHRAE Transactions, American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, June 2004. FSEC-PF-413-04
- Fanger, P. O. (1970). Thermal Comfort: Analysis and Applications in Environmental Engineering: Danish Technical Press, Copenhagen, Denmark.
- Fisk WJ, Rosenfeld AH (1997) Estimates of improved productivity and health from better indoor environments. *Indoor Air*, 7(3), 158-172
- Folch, R., (2007). Les implicacions de la sostenibilitat. *Sostenible?* N° 7.
- Fuller, S. K., & Petersen, S. R. (1996). Life Cycle Costing Manual. Building and Fire Research Laboratory, Office of Applied Economics, Gaithersburg, MD 20899.
- Fundación de energía de la Comunidad de Madrid (FENERCOM), (2007). Guía de ahorro y eficiencia energética en oficinas y despachos. www.fenercom.com
- Funtowicz, S.O., Ravetz, J.R., (1992). Three Types of Risk Assessment and the Emergence of Post-normal Science, en D. Folding y S. Krimsky (eds.), *Social ZTories of Risk*, Praeger, 251-275.
- García Casals X., Mendiluce M., Miras P., Pérez Arriaga J., i Sánchez de Tembleque L. (2007). La gestión de la demanda de energía en los sectores de la edificación y del transporte
- Greening, L.A., Greene, D.L., (1997). Where are we going wrong? Modeling the effects of energy technology gains. Draft Report September 24, Lawrence Berkeley National Laboratory.
- GRI. Sustainability reporting guidelines. Boston (MA): Global Reporting Initiative; 2002
- Greening, L.A., Greene, D., Difiglio, C., (2000). Energy efficiency and consumption - the rebound effect - a survey. *Energy Policy* 28 (2000) 389-401.
- Hanssen, O. S. (2000). Evaluation of association between indoor air climate wellbeing and productivity, *Healthy Buildings*, Helsinki, Finland.
- Haynes, B.P., (2008) The impact of office comfort on productivity. *Journal of Facilities Management*, Vol. 6 Iss: 1, pp.37 - 51
- Holmberg, J., Robèrt, K.-H. & K.E. Eriksson, (1996). Socio-ecological principles for sustainability. In R. Costanza, S. Olmlan and J. Martinez_Alier, eds. *Getting down to Earth – Practical applications of Ecological economics*. International Society of Ecological Economics, Island Press
- Hunt, D.R.G., (1979). The use of artificial lighting in relation to daylight levels and occupancy, *Building and Environment* 14 1979, 21-33.

Ibarra, D.I., Reinhart, C.F., 2009. Daylight factor simulations – how close do simulation beginners ‘really’ get?. Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, July 27-30, 2009, 196 – 203.

IDAE (Instituto para la Diversificación y Ahorro Energético). (2011). Guía técnica de eficiencia energética en iluminación. <http://www.idae.es/index.php/id.36/relmenu.352/mod.pags/mem.detalle>

IEA (International Energy Agency), (2013). Annual Energy Outlook 2013 with projection to 2040. DOE/EIA-0383(2013) | April 2013. www.eia.gov/forecasts/aeo

IPMVP, (2014). International Performance Measurement and Verification Protocol. Efficiency Valuation Organization (EVO). <http://www.evo-world.org/>

ISE, (2008). Levelized cost of electricity renewable energy technologies. Fraunhofer institute for solar energy systems ISE - www.ise.fraunhofer.de

ISO Standard 7730, (1984). Moderate thermal environments – determination of the PMV and PPD indices and specifications of conditions for thermal comfort. International Organization for Standardization. Geneva.

ISO 15686-5:2008, (2008). Buildings and constructed assets. Service life planning. Life cycle costing. Organization for Standardization. Geneva.

Jacobs P., Henderson H., (2002). State-of-the-art Whole Building, Building envelope and HVAC component and system simulation and design tools. Air-conditioning and refrigeration Technology Institute, Arlington, VA.

James, S., Lahti, T., (2004). The Natural Step for Communities: How Cities and Towns can Change to Sustainable Practices. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.

Jelsma, J., Kets, A., Kamphuis, I.G., Wortel, W., (2002). Smart field test: experience of users and technical aspects (Smart Building Multi-Agent InteRnet Technology Project). ECN-C--02-094, project number 7.7425.04.02.

Johansson, D., (2007). Simulating life cycle cost for indoor climate systems. Building Simulation 2007 Tenth International IBPSA Conference, Beijing, China, September 3-6, 2007. p. 501.

Judcoff, R., Neymark, J., (2001). International Energy Agency Building Energy Simulation Test (BESTEST) and Diagnostic Method. IEA SCH Task 12, Building Energy Analysis and design Tools for Solar Applications. NREL Report TP-472-6231, Golden: NREL.

Kabir, E., Mohammadi, A., Mahdavi, A., Pröglhöf, C., (2007). How do people interact with building environmental systems ? An empirical case study of an office building. IBPSA International Conference - China, (2007).

Keith, D.M., (1997). Use of peak occupancy data to model the effects of occupancy-sensing lighting controls, MSc, Faculty of the Graduate School/Civil Engineering, University of Colorado.

Khazzoom, J.D., (1987). Energy savings from the adoption of more efficient appliances. Energy Journal 8(4), 85-89.

Kuhn, T.S., (1962): The Structure of Scientific Revolutions, Chicago, The University of Chicago Press (trad. cast. La estructura de las revoluciones científicas, México, FCE.

Labuschagne, C., Brenta, A.C., Erck, R.P.G, (2003). Assessing the sustainability performances of industries. *Journal of Cleaner Production* 13 (2005) 373-385. www.sciencedirect.com

Leadbitter, J. (2002). PVC and sustainability. *Progress in Polymer Science* 27(10): 2197-2226.

LEED v.2.1, (2002). The Leadership in Energy and Environmental Design (LEED) Green Building Rating System for New Construction & Major Renovations (LEED-NC) Version 2.1, U.S. Green Building Council.

Liddament, M. W. (1996). A guide to Energy Efficient Ventilation. Air Infiltration and Ventilation Centre (AIVC).

Linz M. (2006). Sobre suficiencia y vida buena. Conferencia en el seminario Ciencia y tecnología para una sociedad sostenible, ISTAS, CSIC (2006).

Matsushita, (2002). Environmental sustainability report 2002. Osaka, Japan: Matsushita Electric Industrial Co., Ltd

MITYC (Ministerio de Industria, transporte y comercio) (2007b). La energía en España 2006. ISBN-13: 978-84-96275-52-2. <http://www.mityc.es/>

MITYC (Ministerio de Industria, transporte y comercio) (2010). Plan de acción nacional de energías renovables de España (PANER) 2011 – 2020. <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EnergiaRenovable/Paginas/paner.aspx>

MITYC (Ministerio de Industria, transporte y comercio) (2011). Plan de acción de ahorro y eficiencia energética 2011-2020 (PAEE 2011-2020). http://www.idae.es/index.php/mod.documentos/mem.descarga?file=/documentos_11905_PAEE_2011_2020_A2011_A_a1e6383b.pdf

MITYC (Ministerio de Industria, transporte y comercio) (2013). Resolución de 25 de septiembre de 2013, de la Secretaría de Estado de Energía. Boletín Oficial del Estado (BOE) N.235, Martes 1 de octubre de 2013, Sec. III. Pág. 79433.

MPR (Ministerio de la Presidencia), (2013). Real Decreto 235/2013, de 5 de abril. Boletín Oficial del Estado (BOE) N.89, Sábado 13 de abril de 2013, Sec. I. Pág. 27548.

Mohammadi, A., Kabir, E., Mahdavi, A., and Pröglhöf, C., (2007). Modelling user control of lighting and shading devices in office buildings: an empirical case study. *Building Simulation 2007. Proceedings* 772.

Nathanson, T. (1995). Indoor Air Quality in Office Buildings: A Technical Guide. Report of the Federal-Provincial Advisory Committee on Environmental and Occupational Health, Minister of National Health and Welfare, Canada. ISBN 0-662-23846-X.

Natrass, B.&M., Altomare, (2002). *Dancing with the Tiger: Learning Sustainability Step by Natural Step*. Gabriola Island, BC: New Society Publishers.

Newsham, G.R., (1994). Manual control of window blinds and electric lighting: Implications for comfort and energy consumption, *Indoor Environment* (3), 135-144.

Newsham, G.R., Mahdavi, A., and Beausoleil-Morrison I., (1995). Lightswitch: a stochastic model for predicting office lighting energy consumption, in: *Proceedings of Right Light Three, the 3rd European Conference on Energy Efficient Lighting*, Newcastle-upon-Tyne, 1995, 60-66.

Nilsson, P.E., (2003). Achieving the Desired Indoor Climate; Energy Efficiency Aspects of System Design. Printed by Narayana Press, Denmark. ISBN 91-44-03235-8.

Orosa, J.A., Oliveira, A.C., (2012). Passive Methods as a Solution for Improving Indoor Environments. Springer Science & Business Media, e-ISBN 978-1-4471-2336-1

Osso, A., (Project manager), (1996). Sustainable Building Technical Manual. U.S. Department of Energy, U.S. Green Building Council, Environmental Protection Agency and Public Technology Inc.

Park, C., Augenbroe, G., Sadegh, N., Thitisawat, M., and Messadi, T., (2005). Occupant responsive optimal control of smart façade Systems. Eighth International IBPSA Conference Eindhoven, Netherlands, August 11-14, 2003. Proceedings 1009.

Pentland, W., (2012). The brilliant economics of green buildings. Forbes. <http://www.forbes.com/sites/williampentland/2012/03/18/the-brilliant-economics-of-green-buildings/>

Peterson, F., (1991). Climate Calculations. Department of Heating and Ventilation. Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden.

PMEB, (2001). Plan de Mejora Energética de Barcelona. Agencia de Energía de Barcelona - <http://www.barcelonaenergia.cat/cas/documentos/documentos2.htm>

Poirazis, H. (2004). Double skin facades for office buildings; a literature review. Division of Energy and Building Design, Department of Construction and Architecture, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. ISBN 91- 85147 – 02-8.

Poirazis, H. (2005). Introductory report to the Glazed Office Building Project. Division of Energy and Building Design, Department of Architecture and Built Environment, Lund Institute of Technology, Lund University, Sweden. Report EBD-R--05/10.

Poirazis, H., (2008). Single and Double Skin Glazed Office Buildings. Analyses of Energy Use and Indoor Climate. Lund University. Faculty of Engineering LTH,. Report EBD-T--08/8.

Reinhart C.F., Lightswitch (2002). A model for manual control of electric lighting and blinds, Solar Energy 77(1) 2004, 15-28.

Robèrt, K.-H. (2002a). The Natural Step story - seeding a quiet revolution. Gabriola Island, British Columbia, Canada: New Society Publishers.

Robèrt, K. H. (2002b). Matsushita sustainability report - TVs and refrigerators (internal Matsushita report). Stockholm, Sweden: The Natural Step International.

Roberts, L. (2004). Where is Sustainability? A Compass for the Journey. Proceedings of the Green Globe 21 Sustainable Tourism Conference, Takahanga Marae, Kaikoura, New Zealand, 3-6 March 2004, Pp 23-33.

Roberts, L., (2007). A systems framework for sustainability and its application to a construction project. International Conference on Sustainability Engineering and Science February 20-23, 2007, University of Auckland.

Robinson, J.B., (1990). Future under glass — A recipe for people who hate to predict, Futures October 1990.

Schipper, L., Grubb, M., (2000). On the rebound? Feedback between energy intensities and energy uses in IEA countries. *Energy Policy* 28 (2000) 367-388.

Shaviv, E., Yezioro, A., Capeluto, I.G., (2005). A prescription method for the design of office buildings an energetic – economic approach. Ninth International IBPSA Conference, Montréal, Canada, August 15-18, 2005, 1115-1122.

Spangenberg JH, Bonniot O., (1998). Sustainability indicatorsda compass on the road towards sustainability. Wuppertal Paper No 81.

Tàbara, J.D., (2003). Participación cualitativa y evaluación integrada del medio ambiente y de la sostenibilidad. Aspectos metodológicos en cuatro estudios de caso. *Doc. Anàl. Geogr.* 42, 2003 (183-213).

Travesi, J., Maxwell, K., Klaasen, M., Holtz. (2001). Empirical Validation of Iowa Energy Resource Station Building Energy Analysis Simulation Models, a report of task 22, Subtask A building Energy Analysis Tools Project A.1 Empirical Validation, June 2001.

TOBEEM, (2014). Viabilidad del diseño actual de edificios de oficinas en Madrid de coste y consumo energético mínimos en el horizonte de 2020. - <http://aiguasol.coop/2014/02/17/proyecto-tobeem/>

United Nations Commission on Sustainable Development. Indicators of sustainable development: guidelines and methodologies. United Nations, 2001; <http://www.un.org/esa/sustdev/natlinfo/indicators/indisd/indisd-mg2001.pdf>

U.S. Army Corps of Engineers, (1997). Design Guide for Interiors

VanBronkhorst, D.A., Persily, A.K., Emmerich, S.J., (1995). Energy Impacts of Air Leakage in U.S. Office Buildings. Implementing the Results of Ventilation Research. AIVC Conference, 16th. Proceedings. September 19-22, 1995, Palm Springs, CA, 379-391 pp, 1995.

Wigley, K.J., (1997). Assessment of the importance of the rebound effect.. Paper presented at the 18th North American Conference of the USAEE/IAEE, San Francisco.

Wilde, P., Augenbroe, G., Voorden, M. van der., (1999). "Invocation of building simulation tools in building design practice." Building Simulation '99 Sixth International IBPSA Conference, Kyoto, Japan, September 13-15, 1999. p. 1211-8.

Wilde, P., Augenbroe, G., Voorden, M. van der., (2002). "Design analysis integration: supporting the selection of energy saving building components." *Building and environment* 37, Elsevier Science ltd. Holland, 2002. p. 807-816.

Wilkinson, S.J., Reed, R.G., Jailani, J., (2011). "User Satisfaction in Sustainable Office Buildings: A Preliminary Study." 17th PRRES Pacific Rim Real Estate Society Conference Gold Coast, Australia 16-19th January 2011.

Wittchen, K.B., Thompsen, K.E., 2012. Introducing cost-optimal levels for energy requirements. *REHVA Journal* – March 2012.

Wouters, P. (1999-2000). Quality in Relation to Indoor Climate and Energy Efficiency. An analysis of trends, achievements and remaining challenges. PhD thesis in Université Catholique de Louvain (UCL), Faculté des Sciences Appliquées, Département Architecture et Construction (ARCH), Belgium.

World Wildlife Fund for Nature (WWF), 2008. Guía de ahorro y eficiencia energética en edificios de oficinas. WWF España.

Wyon, D. (1986). The effects of indoor climate on productivity and performance. Simplified summary of results: 'Indoor climate, accidents, human efficiency and comfort', Revised version of a summary prepared by the author for Scandinavian Indoor Climate Year, published in Swedish in VVS & Energi, 59-65.

Wyon, P. D. (2000a). Enhancing Productivity While Reducing Energy Use in Buildings. Proceedings of the Conference held at The Ronald Reagan Building and International Trade Center Washington, D.C.

Wyon, D. (2000b). Individual control at each workplace: the means and the potential benefits In: Clements-Croome, D. (editor). Creating the productive workplace. E&FN Spon. London and New York

OTRAS REFERENCIAS

EMPRESAS Y ORGANISMOS

Activos Renta - <http://www.aractivos.es/web/>

AICIA - Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía - <http://www.aicia.es/>

AIGUASOL – Sistemes Avançats d'Energia Solar Tèrmica, SCCL – www.aiguasol.coop

ASHRAE - Climatización y Energías Renovables al servicio de la humanidad i de un mundo sostenible - <http://www.ashrae.org/>

Asociación de Promotores Inmobiliarios de Madrid (Asprima) - <http://www.asprima.es/>

Ayuntamiento de Madrid - <http://www.madrid.es/>

ALIA - Arquitectura, Energía y Medio Ambiente, S.L - <http://www.alia-es.com/>

C2C Products innovation institute - <http://www.c2ccertified.org/>

CERES – Coalición para las Economías Medioambientalmente Responsables - www.ceres.org/

CIMNE - Centre Internacional de Mètodes Numèrics - <http://www.cimne.upc.es/web/>

El Consorci de la Zona Franca - <http://www.elconsorci.net/asp/home.aspx>

COWI – COWIfonden - <http://www.cowi.com/>

CSD – Comisión de las Naciones Unidas del Desarrollo Sostenible - www.un.org/esa/sustdev/

CSTB - Centre Scientifique Technique du Batiment - <http://www.cstb.fr/>

CTE – Código Técnico de la Edificación - <http://www.codigotecnico.org/index.php?id=33>

- DFG – Diputacion Foral de Gipuzkoa - <http://www.gipuzkoa.eus/es/hasiera>
- DOE – Departamento de Energía de los EEUU - <http://www.doe.gov/>
- DUCH – Desarrollo Urbanístico de Chamartín – <http://www.bbva.com/TLBB/tlbb/esp/index.jsp>
- EERE – Programa de Eficiencia Energética y Energías Renovables del Departamento de Energía de los Estados Unidos - <http://www1.eere.energy.gov/buildings/>
- EPBD – Directive 2010/31/EU of the European parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast) - <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>
- EPEA - The Environmental Protection and Encouragement Agency - <http://epea-hamburg.org/>
- Gas Natural - <http://www.gasnaturalfenosa.com/es/1285338501612/inicio.html>
- IEA – Agencia Internacional de la Energía – <http://www.iea.org>
- Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) - <http://www.idae.es/>
- Jones Lang LaSalle - <http://www.jll.es/spain/es-es/>
- LBNL – Laboratori Nacional de Lawrence Berkeley - <http://www.lbl.gov/>
- LEED 2010. Pilot Credit 7: Light Pollution Reduction.
<http://www.usgbc.org/Docs/Archive/General/Docs8219.pdf>
- LKS - <http://www.lks.es/Default.aspx>
- MINECO – Ministerio de Economía y Hacienda - <http://www.minhac.es/portal/>
- MITYC – Ministerio de Industria, Comercio y Turismo - <http://www.mityc.es/>
- The Natural Step – <http://www.thenaturalstep.org>
- Remica - <http://www.remica.es/>
- SETIS – Strategic Energy Technologies Information System - <http://setis.ec.europa.eu/>
- Typsa - <http://www.typsa.es/>
- Travelife – Organismo de la sostenibilidad en el Turismo.
http://www.travelife.org/Hotels/landing_page.asp
- UNEP – Programa Medioambiental de las Naciones Unidas - www.unep.org/
- USGBC – Consejo de la edificación verde de los Estados Unidos de América - <http://www.usgbc.org/>
- Uponor - <https://www.uponor.es/>
- Wuppertal Institut - www.wupperinst.org/en/home/index.html
- Yesos Ibéricos - <https://www.pladur.com/>

HERRAMIENTAS

BESTD- Listado de herramientas de simulación dinámica de edificios del Departamento de Energía de los EEUU - http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/

BEST – Listado de programas de simulación dinámica de edificios - <http://www.arch.hku.hk/research/BEER/best.htm>

BLAST – Programa de simulación dinámica de edificios - <http://www.cecer.army.mil/facts/sheets/PL30.html>

BSIM4 – Programa de simulación dinámica de edificios - <http://sbi.dk/en/bsim/about-bsim>

CALENER – Ministerio de Industria, Energía y Turismo (MINETURB) - <http://www.minetur.gob.es/es-ES/Paginas/index.aspx>

CYPE – Herramienta de generación de precios de la construcción - <http://www.cype.es/>

DaySim – Programa de simulación dinámica de iluminación natural - <http://daysim.ning.com/>

DOE2 - Programa de simulación dinámica de edificios - <http://doe2.com/>

DEROB-LTH - Programa de simulación dinámica de edificios - <http://www.derob.se/>

ECOTEC - Programa de simulación dinámica de edificios - <http://sql.com/products/ecotect>

EnergyPlus – Programa de simulación dinámica de edificios - http://gundog.lbl.gov/EP/ep_main.html

ESP-r – Programa de simulación dinámica de edificios - <http://www.esru.strath.ac.uk/Programs/ESP-r.htm>

GenOpt – Programa de optimización de modelos de simulación dinámica en base a la minimización de función de costes - <http://simulationresearch.lbl.gov/GO/>

IDA ICE 3.0 - Programa de simulación dinámica de edificios – <http://www.equa.se/>

ITeC – Herramienta de generación de precios de la construcción - <http://itec.es/nouBedec.e/>

Meteonorm – Programa de gestión de datos meteorológicos - <http://meteonorm.com/>

PowerDomus 1.5 - Programa de simulación dinámica de edificios – http://www2.pucpr.br/educacao/lst/software_powerdomus.html

Python – Herramienta de parametrización - <https://www.python.org/>

PREOC – Herramienta de generación de precios de la construcción - <http://www.preoc.es/#!0>

RADIANCE – Programa de simulación dinámica de iluminación natural - <http://www.radiance-online.org/>

SimaPro LCA – Programari de Cicle de Vida d'Edificis - <http://www.pre.nl/simapro/>

Sketchup – Herramienta de diseño - <http://www.sketchup.com/>

TAS 9.0.7 - Programa de simulación dinámica de edificios –
<http://ourworld.compuserve.com/homepages/edsl/>

TRNSYS – Programa de simulación dinámica de edificios - <http://sel.me.wisc.edu/trnsys/>

PUBLICACIONES Y CONGRESOS

DE LA TESIS

Pascual, J., Casanovas, M., Tavan, D., Perez, D., Mitre, E., Tena, B., (2010). Multidimensional performance analysis of office buildings with highly glazed facades. How do they perform in a Mediterranean climate?. EuroSun 2010, International conference on solar heating, cooling and buildings Graz, Austria, September 28th – October 1st, 2010. Proceedings.

Pascual, J., et Al. (2010). Multidimensional performance analysis of office buildings with highly glazed facades. How do they perform in a Mediterranean climate?. 3rd International Conference Palenc 2010, Passive and Low Energy Cooling for the Built Environment Rhodes island, Greece, September 29th – October 1st, 2010. Proceedings. Awarded with the 2nd prize to the best conference paper.

Pascual, J., et Al. (2011). Comportamiento de los edificios de oficinas transparentes en clima Mediterráneo. Construmat 2011, Barcelona, España, 16-21 de Mayo de 2011.

Pascual, J., (2012). Comportamiento energético de edificios de oficinas transparentes en climas mediterráneos. Be energy (9, Enero-Febrero 2012) 49-52.

DEL PROYECTO DE CONTINUIDAD DE LA TESIS

Pascual, J., Cámara, O., Ivancic, A., Tavan, D., Casanova, M., (2013). Evaluation of air leakage and its influence on thermal demands of office buildings in Madrid. REHVA Journal (January 2013) 36 – 40.

Pascual, J., Exposito, C., (2014). Directrices energéticas integrales de edificios de oficinas en Madrid. III Jornada Cátedra E3 eficiencia energética en la edificación, Madrid, España, 17 Enero 2014. http://catedrae3.com/index.php?option=com_content&view=article&id=15&catid=14

Pascual, J., Irastorza, L., (2014). Prestaciones energéticas de los edificios de oficinas y evolución previsible de sus requerimientos en el Horizonte 2020: análisis específico de los edificios altos. Revista de Obras Públicas (ROP) (3552 Marzo 2014) 37 – 48

Pascual, J., et Al. (2014). Optimización energética de edificios de oficinas en el horizonte 2020: Proyecto TOBEEM. El camino hacia los edificios de consumo casi nulo. Jornada de presentación de resultados del proyecto TOBEEM, Madrid, España, 11 de Junio de 2014. <http://www.ietcc.csic.es/files/FilesRoge/DipticoTobeem.pdf>

Pascual, J., Expósito, C., Irastorza, L., Dominguez, J.M., (2014). What are the limitations and how do we achieve office buildings with near zero emissions from where we are today?. World SB14, Barcelona, Spain, October 28th – 30th. Proceedings 1097.

TESIS DOCTORAL

DIRECTRICES ENERGÉTICAS INTEGRALES EN EDIFICIOS DE OFICINAS TRANSPARENTES (TOBEE).

*Radiografía del edificio de oficinas actual para un clima
Mediterráneo.*

Jordi Pascual Pellicer

Doctorando

Nuria Garrido Soriano

Tutora y Directora

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE BARCELONA

Departament de Màquines i motors tèrmics

Programa de Doctorat de la Càtedra UNESCO de Sostenibilitat

Barcelona a Juny de 2015

Sumario

| | |
|---|-----------|
| ANEXO I. INFORMACIÓN DESCRIPTIVA DE LOS EDIFICIOS MONITORIZADOS..... | 2 |
| ANEXO I.I. EDIFICIO NEXUS I..... | 1 |
| ANEXO I.II. EDIFICIO NEXUS II..... | 6 |
| ANEXO I.III. EDIFICIO EL PLA..... | 12 |
| ANEXO I.IV. EDIFICIO CENTRE DE SERVEIS CZF..... | 17 |
| ANEXO I.V. EDIFICIO BP..... | 23 |
| ANEXO I.VI. EDIFICIO ADUANAS..... | 28 |
| ANEXO I.VII. EDIFICIO SEDE CENTRAL EL CONSORCI DE LA ZONA FRANCA..... | 34 |
| ANEXO II. DATOS OBTENIDOS DEL PERÍODO DE MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA | 37 |
| ANEXO II.I. ESQUEMAS DE PUNTOS DE MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS..... | 38 |
| ANEXO II.II. INFORMES DE LOS DATOS DE MONITORIZACIÓN..... | 42 |
| ANEXO II.III. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS..... | 66 |
| ANEXO III. MODELIZACIÓN DE LOS CASOS DEL ESCENARIO BASE..... | 80 |
| ANEXO IV. VALORACIÓN DE LOS COSTES DE INVERSIÓN DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS..... | 82 |

ANEXO I. INFORMACIÓN DESCRIPTIVA DE LOS EDIFICIOS MONITORIZADOS

De la Fase 1 de la Tesis, se seleccionan 6 edificios que se consideren representativos del objeto de análisis, con el fin de comprobar su comportamiento, y obtener datos que permitan validar el tipo de análisis teóricos de las siguientes Fases. En el presente Anexo I, se describen en detalle los edificios seleccionados a tal fin.

ANEXO I.I. EDIFICIO NEXUS I

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

El edificio Nexux, construido en 1994, está situado en el Campus Nord de Pedralbes de la UPC de Barcelona, en la calle Gran Capità nº 2 con calle Jordi Girona salgado de Barcelona. Este edificio esta destinado a usos de cooperación y transferencia tecnológica entre la Universidad y las empresas, es decir de uso oficinas y ocupado desde 1995 por un único inquilino arrendatario.

El edificio se halla enclavado en un solar de una superficie total de 2.140 m² y superficie de ocupación de 1.028,95 m², constituido por dos planta sótano destinada a parking y servicios mas planta baja y 4 pisos, de una superficie construida de aproximadamente de 9.674, 71 m². El terreno tiene una pendiente suave hacia el sur-este del solar,

El edificio tiene planta baja + 4 + 2 sótanos. El edificio esta formado por dos cilindros sobrepuestos y concéntricos. El cilindro inferior esta soterrado y contiene dos plantas destinadas a parking (zona perimetral), a servicios y a locales técnicos (núcleo central). El círculo superior comprende planta baja y 4 plantas de oficinas. En la planta sótano -1 existe un auditorio de una superficie de 151 m² y una capacidad de 130 personas, así como un bar restaurante. En resumen, las superficies se distribuyen según el siguiente programa funcional,

Tabla 1. Cuadro de superficies según programa de usos de Nexus I.
Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m ²) |
|---------------|------------------------------|
| Oficinas | 4.361,40 |
| Bar | 150,00 |
| Auditorio | 157,00 |
| Zonas comunes | 418,73 |
| Sanitarios | 209,50 |

| Uso | Superficie (m2) |
|-----------------------|------------------------|
| Servicios | 443,79 |
| Locales técnicos | 363,36 |
| Aparcamientos | 2.857,02 |
| Rampas aparcamientos | 629,73 |
| Total Superficie útil | 9.590,53 |

El edificio se define en base a una estructura formada por un muro pantalla en perímetro exterior del sótano (garaje), Pantallas (núcleo escaleras y ascensor), pilares, lacenas y losas en forjados de hormigón armado.

La cubierta es plana, tradicional y accesible. Las pendientes están formadas con hormigón celular, protegido con 2 cm. de mortero formando media caña perimetral, lamina de butilo de 2 mm. solapada. Sobre la lamina se ha colocado un aislamiento tipo “Roofmate” de 5 cm. de espesor, protegido con 2 cm. de mortero y acabado con piedra de canto rodado de 16/32 mm. y 7 cm. de espesor tomado sin adherir. La impermeabilización es a base de láminas de cauchos EPDM en la cubierta.

La fachada esta formada por un muro cortina de vidrio soportado por sujeciones de aluminio fundido. Los vidrios están securizados de 12 mm. de espesor.

El pavimento es de piedra natural en vestíbulo de planta baja, terrazo en locales técnicos, escaleras y vestíbulos pisos, y “Gresite” en lavabos. El pavimento en la sala de maquinas y en el aparcamiento es de hormigón terminado con pintura epoxidica antipolvo.

Las divisiones internas fijas de ladrillo hueco enyesado, e interiores en mamparas de madera. El falso techo practicable integral de planchas de acero y, en vestíbulo de planta baja, con planchas de pladur pintadas.

El suministro es realizado por la empresa FECSA-ENHER a baja tensión, con una potencia contratada de 425 KW. La alimentación eléctrica a los módulos oficina es independiente con equipos de medición centralizados en la propia planta. La alimentación eléctrica a servicios comunes con su equipo de medición independiente y conmutación automática red-grupo electrógeno. La distribución interior de las instalaciones de baja tensión del edificio parten de un cuadro eléctrico general de baja tensión alimentado por el suministro de Red exterior y de Emergencia (grupo electrógeno tipo EMV de 255 kWA). Existe un equipo de alimentación ininterrumpida (UPS) de una capacidad de 80kWA para la alimentación en áreas de oficinas con una dotación de 15 W/m2. Centralización de contadores en primer

sótano correspondiente a servicios comunes (consejería, escaleras y vestíbulo), alimentación eléctrica aparcamiento y alimentación eléctrica en local UPC a planta baja.

El suministro de agua se realiza por medio de dos acometidas conectadas a la red de suministro público una general para oficinas de 3” de diámetro y servicios comunes y otra para el suministro para el depósito de prevención de incendios. De la acometida general para oficinas y servicios comunes derivan 3 ramales en tubería de acero galvanizado, 2 para la alimentación de los sanitarios, llenado de los circuitos de climatización y riego interior y otro que alimenta la red exterior. Este sistema de riego es automático y programable para cada uno de los 4 sectores en que está dividido.

La climatización de las oficinas se basa en una instalación dividida en cuatro zonas en función de su orientación. Cada zona dispone de varias para la zona de fachada y de dos unidades para la zona de patios. La producción de agua fría y caliente se produce por medio de bombas de calor. En la cubierta existen dos recuperadores de calor. Por su parte, la ventilación en aparcamiento mediante impulsión y extracción, dotado de doble alimentación eléctrica.

Existe un programa de gestión de las instalaciones del edificio. El sistema de gestión controla las siguientes instalaciones: Climatización, Electricidad, Mecánica y Transporte vertical (ascensores y montacargas). El Objetivo es realizar un control básico y específico de cada una de las instalaciones indicadas, con el propósito de conseguir unas condiciones óptimas de confort y de gestión energética y de mantenimiento del edificio.

El mantenimiento se divide en dos grandes áreas: mantenimiento Preventivo y mantenimiento Correctivo. El Preventivo hace referencia principalmente a trabajos programados y el Correctivo a la resolución de averías. El edificio cuenta con un equipo de mantenimiento compuesto por: 2 encargados, compartidos con otros edificios, 2 oficiales electricistas externos. Dicho equipo se encarga de efectuar las operaciones de mantenimiento Preventivo asignadas al mismo en el PLAN DE MANTENIMIENTO, así como a todos los trabajos de Correctivo que puedan solucionarse con los medios disponibles. Todos los trabajos se controlan a través de un solo documento que es la Orden de Trabajo (OT), en la cual se consignan todos los datos, tanto de la descripción del trabajo a realizar como los de su resolución, horas materiales, costo,...El resto de trabajos de dicho PLAN así como de Correctivos que no pueda efectuar el equipo propio, se contrata con empresas especializadas.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

El modelo de gestión y operación de este edificio tiene las siguientes características principales:

- ✓ Clima: Sistema centralizado y regulado por un gestor. Debido a la realización de particiones diferentes a las previstas en el diseño original, se han instalado algunas máquinas de soporte con su correspondiente termostato.
- ✓ Iluminación: Cada oficina controla y paga su sistema de iluminación. El gestor del edificio controla la iluminación de las zonas comunes.
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio no cuenta con elementos de sombra móviles.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio no dispone de ventanas practicables.

En este edificio el grado de interacción del usuario queda limitado a la posibilidad de alterar las temperaturas de clima, en los casos en que las oficinas cuenten con máquinas independientes. Esto genera unas situaciones de disconfort de los usuarios que se resumen en un disconfort por frío en invierno de los usuarios de la orientación norte y un disconfort por calor en verano para las orientaciones sur y oeste. Este hecho deriva en las situaciones de disconfort expresadas por los usuarios en las encuestas mensuales que se muestran a continuación

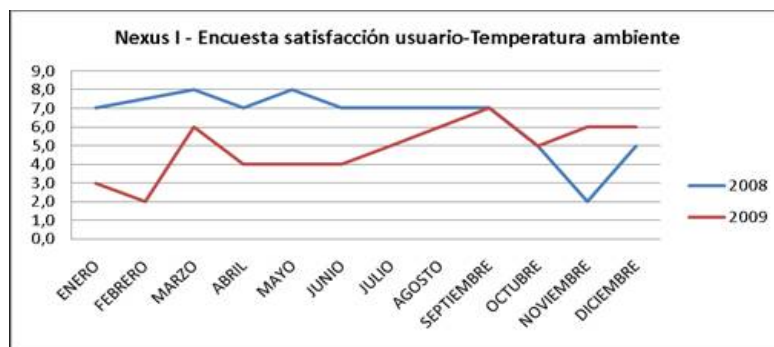


Figura 1. Encuestas internas de satisfacción del usuario en Nexus I. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

En donde, cabe destacar que se produjo una avería de máquina de clima en noviembre de 2008 y que no se solucionó hasta mediados de 2009, lo que empeoró las valoraciones en este período.

Imágenes del edificio

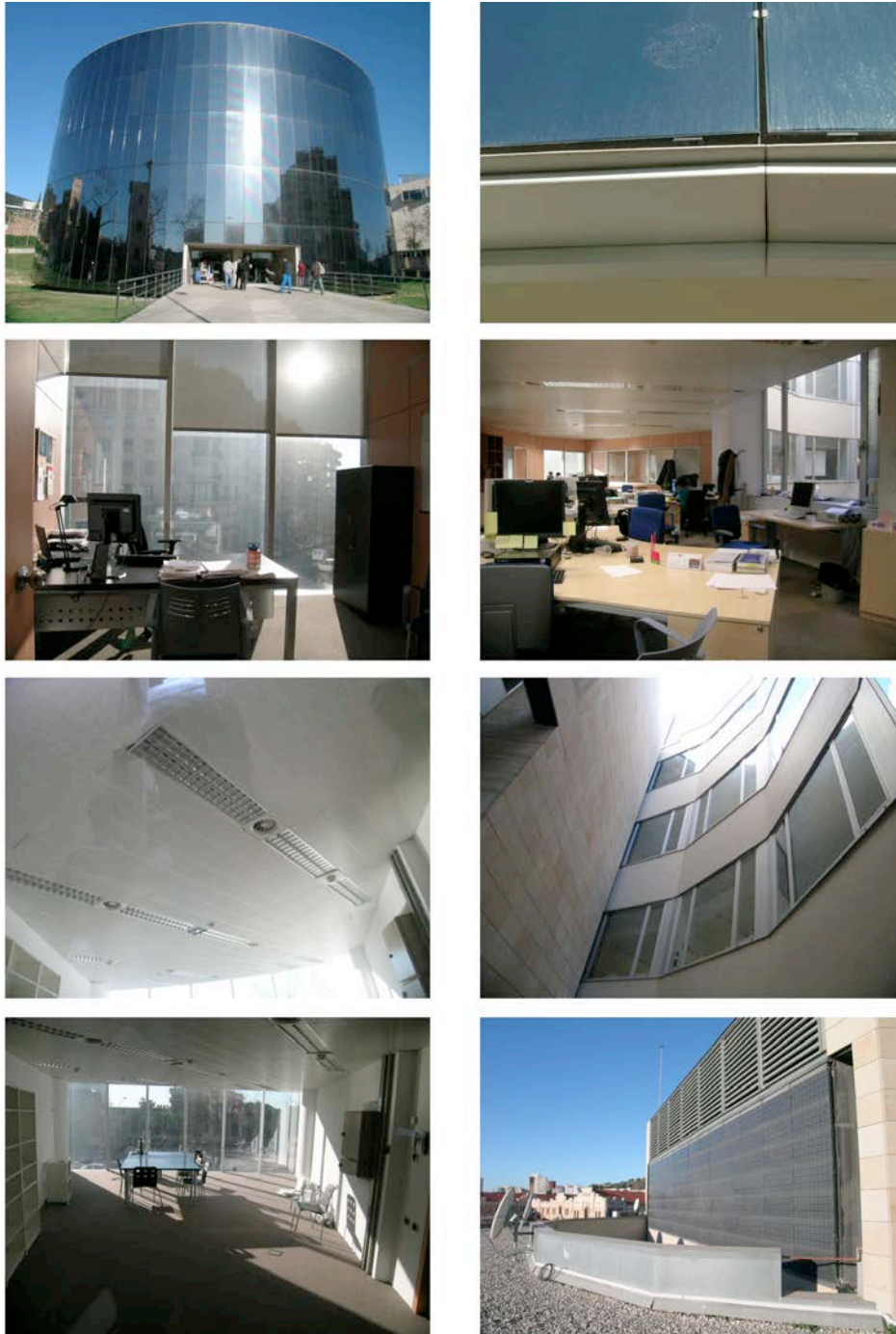


Figura 2. Distintas vistas y detalles del edificio Nexus I. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Más allá de la caracterización del edificio en base a la información disponible y la obtenida en visitas, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones,

como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

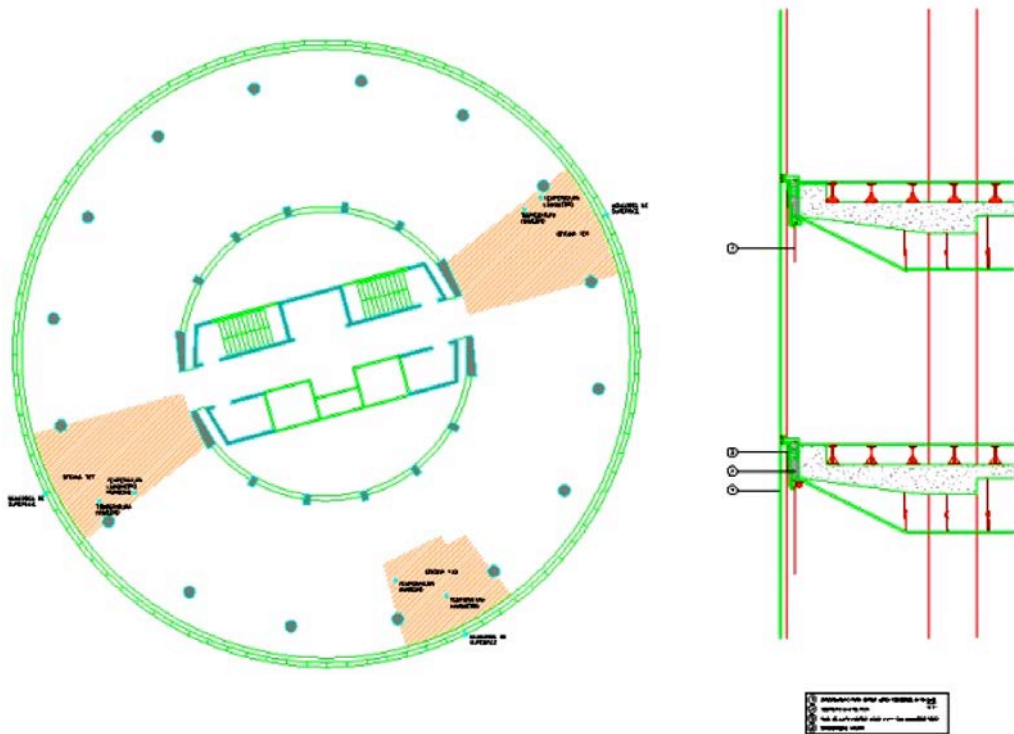


Figura 3. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para Nexus I. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.II. EDIFICIO NEXUS II

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

El edificio Nexus II se encuentra situado en el Campus Nord de Pedralbes de la UPC de Barcelona, en la calle Jordi Girona nº 1-3, cerca de Nexus I. Este edificio está destinado a usos de cooperación y transferencia tecnológica entre la Universidad y las empresas.

El edificio se halla enclavado en un solar de una superficie total de 2.840 m² y superficie de ocupación de 1.730,56 m², constituido por una planta sótano destinada a parking de 1.800 m² mas planta baja y 3 pisos de una superficie construida de aproximadamente de 6.000 m².

Tabla 2. Cuadro de superficies según programa de usos en Nexus II.
Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m2) |
|-----------------------|------------------------|
| Oficinas | 4.066,11 |
| Zonas comunes | 1.583,44 |
| Planta sótano | 1.589,45 |
| Total Superficie útil | 7.239,00 |

El terreno tiene una pendiente suave hacia el sur-este del solar, con un desnivel total de 4 mts. La implantación en el terreno, perpendicular al eje que cruza el Campus de Sur a Norte, hace que tenga un diseño del alrededor como una plataforma ajardinada siguiendo los jardines de la Torre Girona, este emplazamiento permite un acceso al aparcamiento sin rampas.

Es un edificio de una gran transparencia ya las fachadas están resueltas por un doble muro de cristales transparentes que permiten el aislamiento acústico y térmico, sin perder ni luz ni vista. Para evitar el sol, se ha realizado la construcción de unos grandes voladizos que permiten la protección solar de la fachada.

Para tener una integración visual en todo el edificio, hay una escalera longitudinal, a partir de la primera planta que permite visualizar desde el acceso, toda la magnitud del edificio, al mismo tiempo que conecta las diversas plantas que componen el conjunto.

El edificio cuenta con una estructura en base a muro pantalla en perímetro exterior sótanos (garaje), pantallas (núcleo escaleras ascensor, pilares, lacenas y losa en forjado de hormigón armado. La cubierta es plana, tradicional y accesible, con pendientes formadas con hormigón celular, protegido con 2 cm. de mortero formando media caña perimetral, lamina de butilo de 2 mm. solapada. Sobre la lamina se ha colocado un aislamiento tipo “Roofmate” de 5 cm. de espesor, protegido con 2 cm. de mortero. El conjunto está terminado con losas de hormigón de 60 x 60 cm. armadas interiormente, que se apoyan en unos soportes especiales para pavimento flotante. La impermeabilización es a base de láminas de cauchos EPDM en la cubierta. Las fachada exterior por medio de muro cortina (climalit) tipo “silicona estructural”, y las interiores de cristal con ventanas practicables convencionales. Por su parte, suelos con terrazo en locales técnicos, con moquetas sobre suelo técnico en oficinas y mármol en vestíbulos plantas y escaleras principales. Todas la divisiones de los núcleos son de tocho perforado; las divisiones entre oficinas son de mamparas de madera ciega Monobloc, con montantes rígidos de acero, rellenos de lana de roca de 40 Kg./m3

con un espesor total de 83 mm. y perfil telescópico ajustable al suelo y al techo y mampara SYBCHONEP P-83 formada por módulos acristalados con doble vidrio de 6+8 mm., sobre perfil telescópico ajustable a suelo y techo. Los falso techos formado por placas de cartón yeso semirrígido de 13 mm., anclado con tortillería de acero a la perfilaría galvanizada y pintado.

El suministro es realizado por la empresa FECSA-ENHER a media tensión. El edificio dispone de tres sistemas de suministro que corresponden a un suministro de red exterior, realizada por medio de un centro transformador de 800 kVA para una tensión de utilización a 380/220 V, tres fases, 4 conductores, con neutro puesto a tierra, la potencia máxima prevista es de 650 KW. Un suministro de emergencia a través de un grupo electrógeno de 160 kVA en potencia continua y 175 kVA en potencia de emergencia. Encontrándose ubicado en el área de instalaciones en la cubierta del edificio. Y un suministro en red estabilizada por medio de un grupo de continuidad de 40 kVA con autonomía de 10 minutos. Encontrándose ubicado en las áreas de instalaciones de cada planta del edificio.

Los locales para las instalaciones a media tensión se hallan ubicados en la planta sótanos. La distribución interior de las instalaciones de baja tensión del edificio parten de un cuadro eléctrico general de baja tensión alimentado por el suministro de Red exterior (centro de transformación) y de Emergencia (grupo electrógeno). La distribución interior de red estabilizada se a partir de los cuadros eléctricos de planta (2 ud. Por planta) alimentados por los grupos del sistema de alimentación ininterrumpida. La iluminación media en oficinas es de 300-350 lux por medio principalmente por luminarias encastrables tipo downlights con lámparas compactas de 26 w.

La instalación de agua fría para el abastecimiento del edificio se inicia en una acometida de agua procedente de la red publica de abastecimiento, es de polietileno de alta densidad a 16 Kg./cm², Desde el contador se alimenta un deposito de reserva y acumulación de agua de 3 m³ de capacidad para uso sanitario., a salida de deposito existe un grupo de presión para alimentar la totalidad del edificio y mantener siempre una presión constante. La distribución se realiza por el techo de la planta sótano hasta los puntos de llaves de limpieza y mediante 2 montantes se alimenta las planta superiores. Todas la conducciones de agua fría están aisladas para evitar condensaciones. El Agua caliente sanitaria alimenta todos los lavabos de los aseos. Existe un termoacumulador instalado en el falso techo de cada aseo alimentando los lavabos, la instalación ha sido realizada con tubo de polipropileno. Finalmente se cuenta con una red de riego. La urbanización dispone de una red de riego para las zonas ajardinadas

existentes en el exterior del recinto. A partir del colector de salida del grupo de presión de AFS, sale la distribución hasta llegar a los exteriores de la urbanización con el objeto de alimentar las diversas zonas con necesidad de riego, la distribución se ha realizado con tubería de polietileno de alta densidad de 16 Kg./cm²

El sistema de tratamiento de aire están formados por un conjunto de climatizadores o unidades de tratamiento de aire con las redes de conductos y tuberías que conectan estos equipos al sistema de generación de frío y calor. La climatización de las oficinas se efectúa mediante un sistema de equipos autónomos de condensación por aire, dotado de bombas de calor. Cada unidad trata dos plantas (baja + primera y segunda + tercera) y una orientación, bien sea oeste, sur, este o norte. Cada modulo puede trabajar independientemente a la del resto. Las unidades exteriores están situadas en cubierta. Para el tratamiento del aire exterior se han incorporado unos recuperadores de calor del aire de extracción, situados en cada planta (una unidad por modulo y planta en el patio de instalaciones) que permiten un considerable ahorro energético. Mediante el sistema de gestión de edificios D-BACS se tiene acceso a las diferentes unidades interiores pudiéndose establecer horarios, ajustes y variaciones de temperatura de consigna así como revisar posibles anomalías a distancia, hallándose situado en la sala de control en planta baja.

Más allá de los sistemas propios de ventilación en sótanos y aseos, el sistema de ventilación mecánica entre el aire de aportación exterior a los locales y el aire de extracción evacuado existen intercalados unos equipos de recuperación de calor, del tipo entálpicos. Este sistema incorpora ventiladores para la aportación y extracción, garantizando una eficacia de intercambio superior al 50%.

Existe un programa de gestión de las instalaciones del edificio. El sistema de gestión controla la siguientes instalaciones: climatización, electricidad, mecánica, y transporte vertical (ascensores y montacargas). El Objetivo es realizar un control básico y específico de cada una de las instalaciones indicadas, con el propósito de conseguir unas condiciones óptimas de confort y de gestión energética y de mantenimiento del edificio.

El mantenimiento se divide en dos grandes áreas: mantenimiento Preventivo y mantenimiento Correctivo. El Preventivo hace referencia principalmente a trabajos programados y el Correctivo a la resolución de averías. El edificio cuenta con un equipo de mantenimiento compuesto por: 2 encargados, compartidos con otros edificios, 2 oficiales electricistas externos. Dicho equipo se encarga de efectuar las operaciones de mantenimiento Preventivo asignadas al mismo en el PLAN DE MANTENIMIENTO, así como a todos los

trabajos de Correctivo que puedan solucionar con los medios disponibles. Todos los trabajos se controlan a través de un solo documento que es la Orden de Trabajo (OT), en la cual se consignan todos los datos, tanto de la descripción del trabajo a realizar como los de su resolución, horas materiales, costo,...El resto de trabajos de dicho PLAN así como de Correctivos que no pueda efectuar el equipo propio, se contrata con empresas especializadas.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

En el edificio Nexus II, el modelo de gestión y operación viene determinado según:

- ✓ Clima: Sistema centralizado y regulado por un gestor. Debido a la realización de particiones diferentes a las previstas en el diseño original, se han instalado algunas máquinas de soporte con su correspondiente termostato.
- ✓ Iluminación: Sectorizado por oficinas. El usuario puede encender y apagar la luz de la zona. El gestor del edificio controla la iluminación de las zonas comunes.
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio cuenta con elementos de sombra móviles.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio no dispone de ventanas practicables.

En este edificio el usuario puede regular la temperatura de la zona y hacer uso de los elementos de sombra.

Como en el resto de edificios seleccionados, se cuenta con encuestas de satisfacción realizadas a los inquilinos por parte de la propiedad, de forma periódica.



Figura 4. Encuestas internas de satisfacción del usuario en Nexus II. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

En donde se observan problemas de sobrecalentamiento, incluso en invierno, más acusados en orientación oeste.

Imágenes del edificio

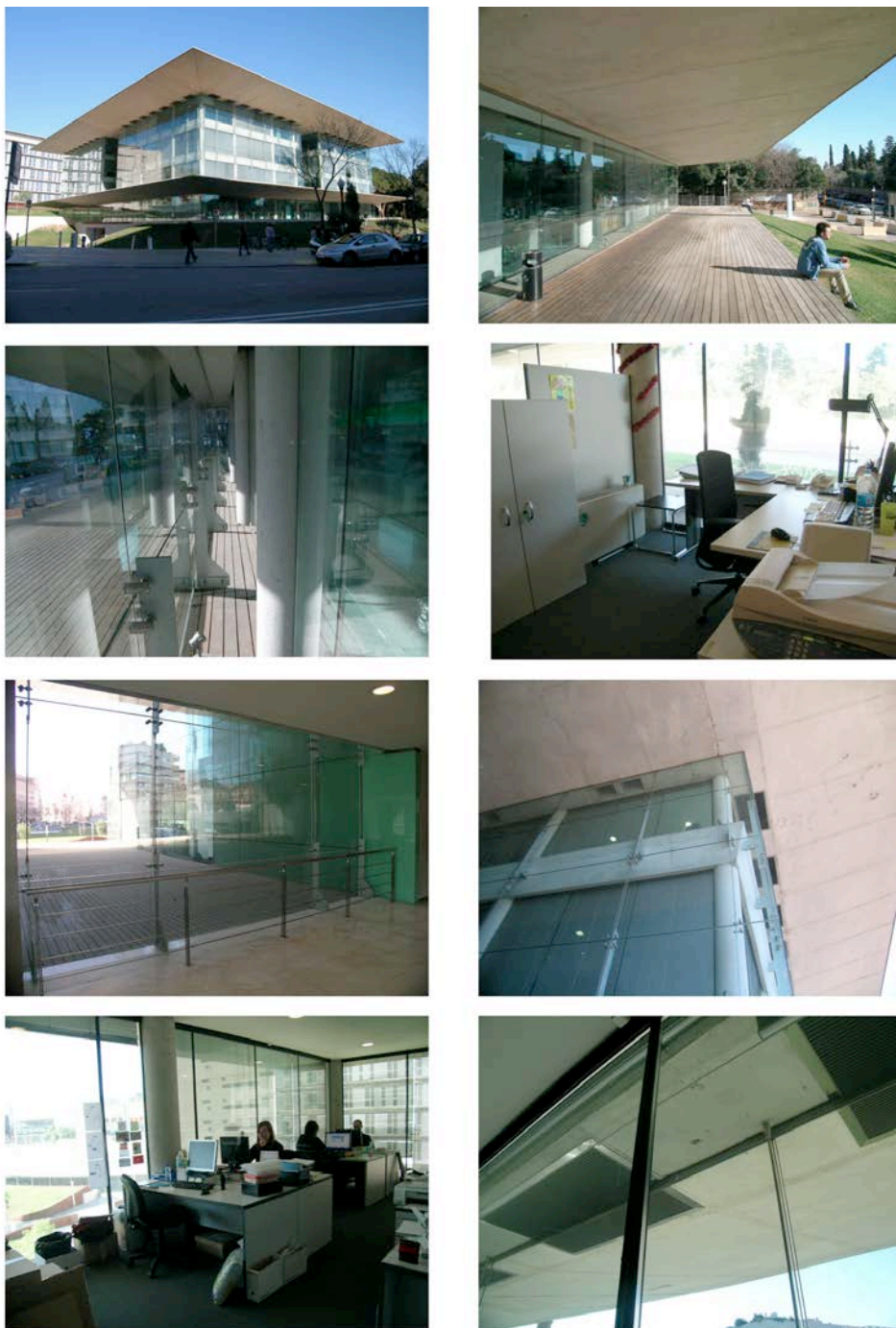


Figura 5. Distintas vistas y detalles del edificio Nexus II. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Análogamente a los otros edificios, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones, como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

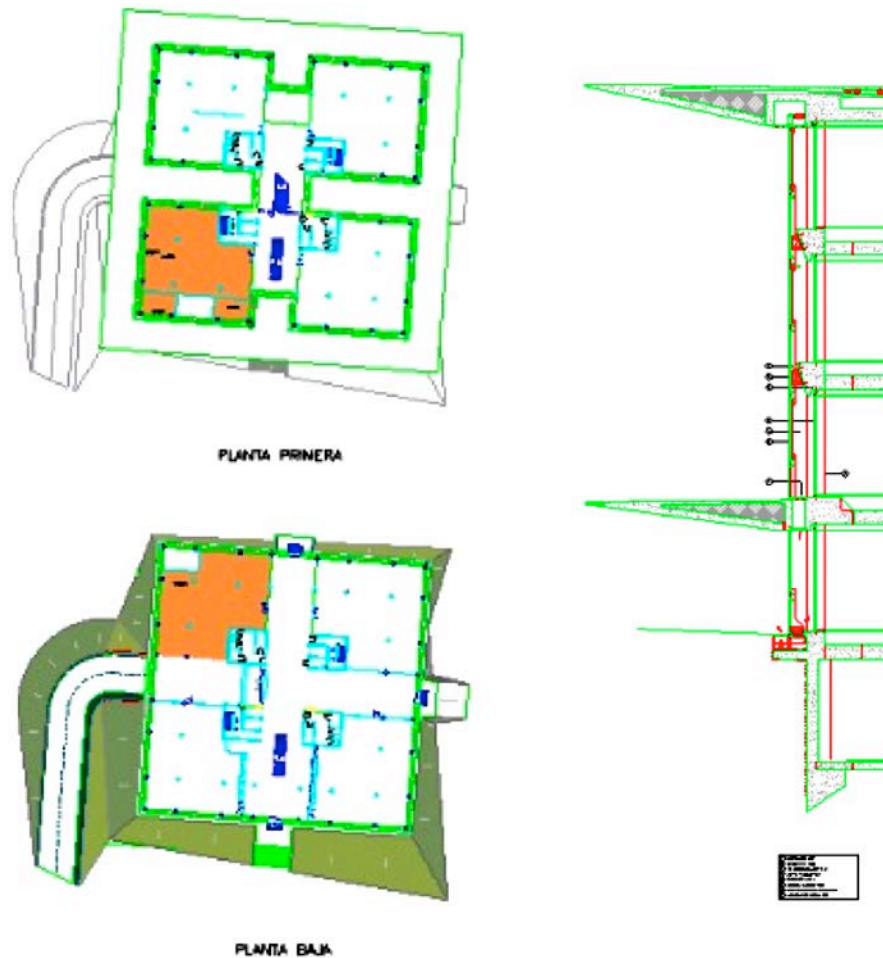


Figura 6. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para Nexus II. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.III. EDIFICIO EL PLA

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

Edificio de oficinas de dos plantas más baja, sótano y azotea, fue construido en el año 1993, se ocupó en el año 1994. El edificio, de uso principal oficinas aunque con otros usos en planta baja, está formado por una estructura reticular, con pilares de perfil laminado de hierro. El acceso principal es por la calle Pla, 166 del Polígono Ind. El Pla. El edificio se encuentra rodeado de una zona ajardinada de las cuales 256 m² son de césped y 753 m² con pavimento de pizarra natural negra de 3 cm. de espesor y otra zona de aparcamiento para 31

plazas, a la entrada hay una barrera de control de acceso con apertura automática desde el edificio y del exterior con tarjeta.

El edificio cuenta con una superficie total construida de 2.283m² distribuidos según los distintos usos del programa funcional, según la siguiente tabla

Tabla 3. Cuadro de superficies según programa de usos en El Pla.
Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m ²) |
|------------------------|------------------------------|
| Locales comerciales PB | 172 |
| Oficinas | 1.108 |
| Sala | 335 |
| Restaurante | 108 |
| Vestíbulos y servicios | 560 |
| Total Superficie útil | 2.283 |

La estructura del edificio está formada a base de pilares y jácenas rectangulares de perfil laminado de hierro. El forjado es de hormigón armado formado por un entramado metálico solidario a unos forjados realizados con chapa plegada colaborante, lo que resuelve una serie de jácenas mixtas, dando mayor rigidez al conjunto. Con una resistencia característica de 200 kg/cm², una sobrecarga de uso y tabiquería de 300 kg/m² en plantas piso y 300 kg/m² de sobrecarga más 40 kg/m² de nieve en cubierta. Existen dos escaleras interiores, una noble de estructura metálica y peldaños acabados en madera, y otra de servicio-emergencia.

La cubierta está formada por una cubierta plana con pendientes realizadas con hormigón celular, impermeabilización con telas asfálticas y acabado con piedra de canto rodado de 16/32 mm. y 7 cm. de espesor tomado sin adherir. Por su parte, las fachadas están formadas la planta baja con aplacado de piedra arenisca roja aplomazada y el resto con un muro cortina en aluminio anodinado y cristal doble de color verde de la 1ª planta a cubierta, recubierto por la parte exterior de una lámina solar DTI que absorbe el 70% de los rayos solares. Los suelos en planta baja son de pavimento a base de terrazo negro tomado con mortero, pulido y abrillantado in situ, y en planta 1ª y 2ª suelo tipo linóleoum. Por su parte, el edificio cuenta con falsos techos formados por placas de escayola de 60 x 60 con sistema desmontable y entramado oculto. La altura libre entre pavimento y falso techo es de 2,50 m. En las zonas de servicio y vestíbulo el falso techo está formado por plancha lisa de escayola enlucida y pintada. Igualmente, todas las divisiones que forman las cajas de escaleras,

ascensores y aseos están formados por obra tradicional, o sea tabicones de 10 o 15 cm. según usos. En los cuartos de archivos para oficinas de la planta sótano los tabiques son de Pladur sin aislamiento todos ellos enyesados y pintados o revocados y acabados con azulejo blanco de 20 x 20 en cuartos húmedos. El resto de divisiones para la formación de oficinas, son de Pladur con aislante acústico. Las paredes que forman el vestíbulo, las escaleras y pasillos de las plantas están forradas en madera.

El suministro eléctrico se realiza a baja tensión al cuarto general de distribución situado en una caseta ubicada en el perímetro de la finca en el que también se encuentra el contador del agua. La iluminación se realiza mediante pantallas fluorescentes de 4 x 40 w. con tubos TLD luz lujo y difusor reflectante plata en las zonas de oficinas y mediante proyectores para lámpara de vapor de Hg. De 70 w, en vestíbulo y pasillos. Todas las oficinas y locales comerciales disponen de un cuadro de mando y protección. La iluminación de oficinas y locales comerciales es con luminarias fluorescentes empotradas en el falso techo.

El sistema de climatización de las dos plantas de oficinas está compuesto por 3 unidades climatizadores Bomba de Calor aire/aire ubicadas en la cubierta. La climatización de la planta baja se realizaba por medio de 3 Bombas de Calor sistema partido aire/agua cada una para el servicio de Bar-restaurant, o sala de actos o vestíbulo. Todos los aparatos son de la casa INTERCLISA, modelos 1 RT 250B, 2 RT 162B, 1 SCAV 200B, 1 SCAV 104B y 1 SCAV 74B.

La instalación de agua fría se alimenta de una acometida situada dentro de una caseta en la que también se halla el contador, ubicada en el perímetro de la finca. La distribución se efectúa mediante tuberías de acero galvanizado con accesorios roscados y a partir de las llaves de paso de los cuartos húmedos con tubería de cobre soldado. El sanitario es de la casa "ROCA", y la grifería es de la casa SUPERGRIF.

El mantenimiento se divide en dos grandes áreas: mantenimiento Preventivo y mantenimiento Correctivo. El Preventivo hace referencia principalmente a trabajos programados y el Correctivo a la resolución de averías. El edificio cuenta con un equipo de mantenimiento compuesto por: 2 encargados, compartidos con otros edificios, 2 oficiales electricistas externos. Dicho equipo se encarga de efectuar las operaciones de mantenimiento Preventivo asignadas al mismo en el PLAN DE MANTENIMIENTO, así como a todos los trabajos de Correctivo que puedan solucionar con los medios disponibles. Todos los trabajos se controlan a través de un solo documento que es la Orden de Trabajo (OT), en la cual se consignan todos los datos, tanto de la descripción del trabajo a realizar como los de su

resolución, horas materiales, costo,...El resto de trabajos de dicho PLAN así como de Correctivos que no pueda efectuar el equipo propio, se contrata con empresas especializadas.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

Para este edificio, el modelo de gestión y operación tiene las siguientes características principales:

- ✓ Clima: Sistema centralizado, con algunas máquinas de soporte con su correspondiente termostato.
- ✓ Iluminación: Sistema sectorizado, cada oficina controla y paga su consumo en iluminación. El gestor del edificio controla la iluminación de las zonas comunes.
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio cuenta con elementos de sombra móviles.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio dispone de ventanas practicables.

En donde el usuario puede regular la temperatura de la zona y hacer uso de los elementos de sombra.

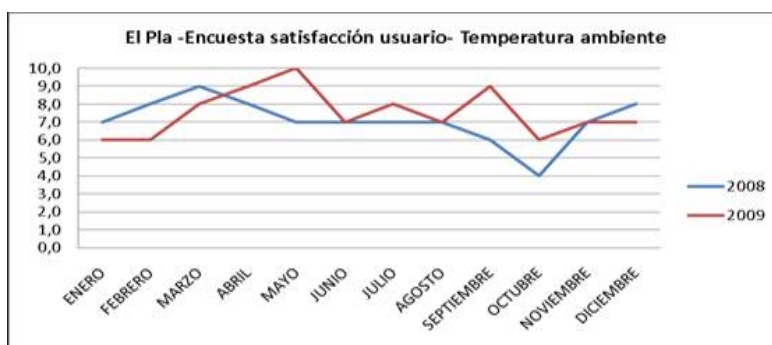


Figura 7. Encuestas internas de satisfacción del usuario en El Pla. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

En donde nuevamente se producen sobrecalentamientos y exceso de luz en la orientación sur-este. Se da la circunstancia de que un usuario controla la temperatura de varios despachos situados en diferentes orientaciones de fachada, lo que provoca discomfort, normalmente por calor de los usuarios de la fachada sur-este.

Imágenes del edificio



Figura 8. Distintas vistas y detalles del edificio El Pla. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Análogamente a los otros edificios, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones, como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

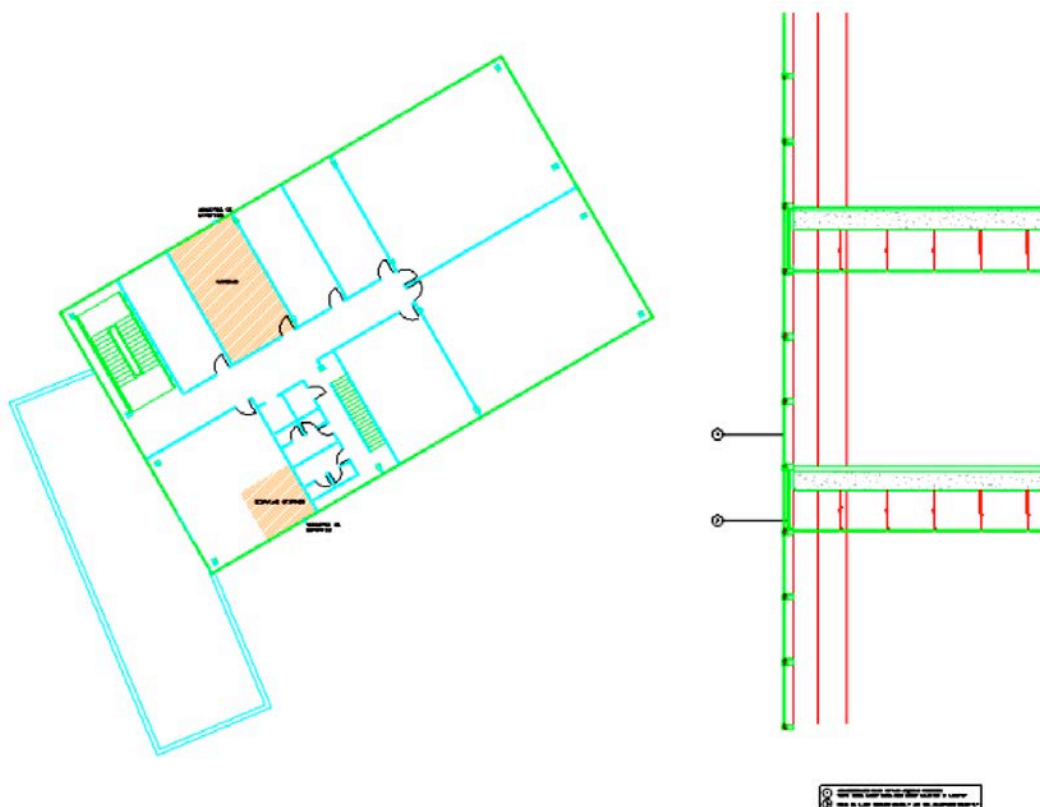


Figura 9. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para Nexus II. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.IV. EDIFICIO CENTRE DE SERVEIS CZF

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

Edificio de oficinas y locales comerciales. El acceso principal es por la calle 60 nº 25-27 de Barcelona. Lo componen sótano, planta baja y dos pisos, tiene una configuración longitudinal con una forma escalonada en la orientación Sur, con terrazas ajardinadas

incluida la cubierta, la fachada Norte es vidriada con pasos de accesos a las oficinas. La escalera de salida de emergencias forma un cuerpo separado unido por un puente en cada planta, se enfrenta a esta fachada por su parte central. Fue construido en 1993 y ocupado en 1994.

En el extremo de Poniente está el vestíbulo principal, dispone de 2 ascensores y 1 montacargas que conecta con planta sótano, vestíbulo principal y las 2 plantas superiores. Los accesos a los locales comerciales y bar-restaurante de la planta baja son independientes de las oficinas realizándose por un paso peatonal uniendo los 2 extremos. Existiendo 3 escaleras de acceso al parking. En el extremo de levante del edificio existe una escalera de servicio y un ascensor de planta sótano a 2ª planta. En el exterior dentro de la zona ajardinada existe el anagrama del Centre serveis de la Zona Franca “Z” realizada en hormigón celular de 4 m. de altura. Destinando sus plantas a los siguientes usos: aparcamiento, sala de máquinas y cuartos traseros (planta sótano), vestíbulo de acceso y locales comerciales uno de ellos ocupado por una entidad bancaria y otro par un bar-restaurante y oficinas, y servicios comunes (planta baja), oficinas y servicios comunes (plantas 1ª y 2ª) y planta azotea en la que en la parte superior de cada uno de los 6 patios interiores están ubicados los extractores de los aseos y una góndola.

Con una superficie total de 12.890 m², el edificio distribuye según los siguientes usos de programa funcional,

Tabla 4. Cuadro de superficies según programa de usos en Centre de Serveis. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m2) |
|------------------------------|------------------------|
| Aparcamiento | 4.210 |
| Restaurante | 1.079 |
| Cuartos traseros | 302 |
| Locales comerciales | 978 |
| Oficinas | 2.937 |
| Vestíbulos y servicios | 3.384 |
| Total Superficie útil | 12.890 |

El edificio se construye en base a una estructura formada a base de pilares de hormigón armado visto y forjados reticulares de hormigón, está calculada para una sobrecarga en planta baja y pisos de 50 Kg./m² por tabique y 300 kg./m² de sobrecarga de uso, y en

cubierta de 100 Kg./m² de mantenimiento, 150Kg./m² sobrecarga de agua y 40 Kg./m² de sobrecarga de nieve y 480 Kg./m² de tierra vegetal. Pantallas de hormigón que se usan como estructura en los extremos y cajas de ascensores.

La cubierta está formada por una cubierta plana con pendientes realizada con hormigón celular, capa de protección en cemento mortero de 3 cm. de espesor, acabado con pavimento formado por dos capas de baldosa cerámica, tomada la primera con mortero asfáltico impermeabilizada con banda anti raíces, lámina separadora de polietileno de 50 micras de espesor colocada sin adhesivo. En relación a las fachadas, la fachada Sur de hormigón armado, con ventanas y ventanales de aluminio y vidrio. Por su parte, la fachada Norte de hormigón en estructura, con un muro cortina delante de los pasos de oficinas. Los suelos son en base a pavimento a base de terrazo de color granate tomado con mortero, pulido y abrigantado in situ y techos con falso techo metálico perforado tipo Philips de color gris de 100 x 30. Los tabiques son de 10 cm. de grosor para las divisiones entre locales, acabados en yeso. Cuartos húmedos acabados con baldosas blancas 20 x 20.

El suministro eléctrico se realiza a baja tensión desde una ET situada en planta sótano que alimenta el cuadro general de distribución situado en el cuarto de contadores también situado en planta sótano. Existe un contador de activa de doble tarifa contratado para una potencia de 400 KW. Situado en planta sótano existe un cuarto de mando del control integral. Todas las oficinas y locales comerciales disponen de un cuadro de mando y protección. La iluminación de oficinas y locales comerciales es con luminarias fluorescentes empotradas en el falso techo. En los locales destinados a oficinas hay una instalación con cajas tipo akerman empotradas en el suelo con tomas de corriente y teléfono, realizándose el circuito por canal bajo pavimento. En el restaurante la iluminación es con lámparas incandescentes halógenas de bajo voltaje y en la cocina con luminaria fluorescente totalmente estanca y de instalación de superficie. En los servicios comunes su recorrido es por falso techo. En sala de máquinas la iluminación es fluorescente estanca. La instalación exterior cumple la normativa MI-BT-009 de “Instalaciones de Alumbrado Público”. Desde la sala de máquinas de la climatización se controla la alimentación a las Bombas de Calor, bombas del sistema hidráulico de climatización, extractores de los aseos, extractores zonas comunes y los Fan-coils de pasillos y vestíbulos.

El Bar-restaurante dispone de una climatización bien diferenciada del resto del edificio efectuándose la misma por medio de 3 climatizadores autónomos: 1 climatizador NB-18 y 2 climatizadores CTA-6UR. El sistema de climatizaciones por medio de 3 plantas enfriadoras

tipo Bomba de Calor aire-agua situadas en planta sótano de la casa “ROCA” modelo AWHP-90, la red de distribución de agua se efectúa a través de tubería de hierro negro sin soldadura DIN 2440 ST-35, aislada exteriormente por coquilla elastómerica, que alimenta unos fan-coils instalados en las diversas oficinas y locales comerciales, los cuales se hallan instalados en el falso techo. La distribución de aire en oficinas y locales comerciales es a través de conductos rectangulares contruidos con plancha de fibra de vidrio tipo CLIMAVER. El retorno se realiza mediante plenum conectado a unidades climatizadoras al que se le conecta una toma de aire exterior para asegurar la renovación de aire de las oficinas y locales comerciales. La extracción de aire de los aseos se realiza a través de 6 unidades de extractores ubicados en la parte superior de los patios servicios. En el aparcamiento se dispone de 6 ventiladores extractores conectados a un sistema de gestión con detectores de concentración de CO2. En general se contabilizan: 3 Bombas de Calor “ROCA” mod. AWHP-90, 3 Bombas de recirculación GRUNFOSS LM 80-160/162, 3 Bombas de recirculación GRUNFOSS LM 80-160/168, 2 Bombas de recirculación INGERSOLLRAND MC 100/250, 48 Fan-coils UP-37-4 CIAT, 7 Fan-coils UP-39-4 CIAT, 8 Fan-coils UP-37-6 CIAT y 1 Fan-coil DCH-30 CIAT.

La instalación de agua fría se alimenta de 3 acometidas que parten de una arqueta ubicada en el exterior del edificio. Cada acometida alimenta un circuito independiente que son: servicios, restaurante y riego. La distribución de las zonas de servicio se realiza por el techo de la planta subterránea de donde se alimentan los grifos de limpieza y montantes verticales que suben por los patios de instalación desde los cuales se alimentan los aseos de las oficinas. La red es de tubería de acero galvanizado DIN 2440 y accesorios roscados, debidamente aislada para evitar condensaciones. La instalación de riego parte de una acometida que alimenta la zona ajardinada así como las ajardinadas existentes en las diversas terrazas. El sistema de riego es por aspersión y de difusión en las terrazas, están divididas en zonas controladas por un sistema de gestión.

El mantenimiento se divide en dos grandes áreas: mantenimiento Preventivo y mantenimiento Correctivo. El Preventivo hace referencia principalmente a trabajos programados y el Correctivo a la resolución de averías. El edificio cuenta con un equipo de mantenimiento compuesto por: 2 encargados, compartidos con otros edificios, 2 oficiales electricistas externos. Dicho equipo se encarga de efectuar las operaciones de mantenimiento Preventivo asignadas al mismo en el PLAN DE MANTENIMIENTO, así como a todos los trabajos de Correctivo que puedan solucionar con los medios disponibles. Todos los trabajos

se controlan a través de un solo documento que es la Orden de Trabajo (OT), en la cual se consignan todos los datos, tanto de la descripción del trabajo a realizar como los de su resolución, horas materiales, costo,...El resto de trabajos de dicho PLAN así como de Correctivos que no pueda efectuar el equipo propio, se contrata con empresas especializadas.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

El modelo de gestión de este edificio viene determinado por:

- ✓ Clima: Termostatos en cada una de la oficinas de diseño original del edificio.
- ✓ Iluminación: Sistema sectorizado, cada oficina controla y paga su consumo en iluminación. El gestor del edificio controla la iluminación de las zonas comunes.
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio cuenta con elementos de sombra móviles.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio dispone de ventanas practicables.

En este edificio algunos usuarios pueden regular la temperatura de la zona y hacer uso de los elementos de sombra. Ello puede ser un elemento condicionador de los resultados observados en las encuestas internas de confort;

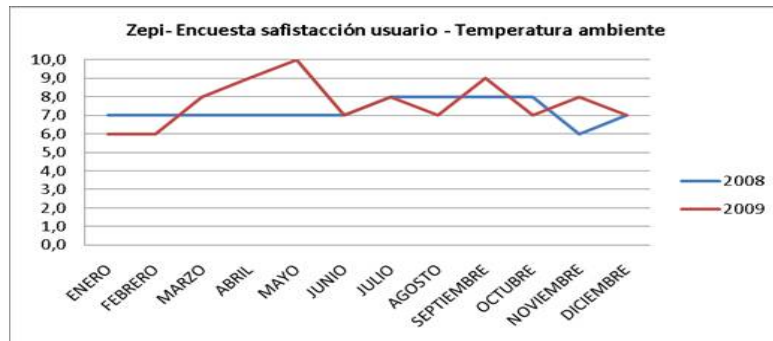


Figura 10. Encuestas internas de satisfacción del usuario en el Centre de Serveis. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

En donde, también en este caso se producen sobrecalentamientos en las oficinas con orientación sur-este, debido a que la sectorización interna en oficinas no coincide con la presencia de termostatos ni necesariamente con los difusores de clima. No es posible tener confort térmico simultáneo entre zonas interiores, zonas NE y zonas SW

Imágenes del edificio

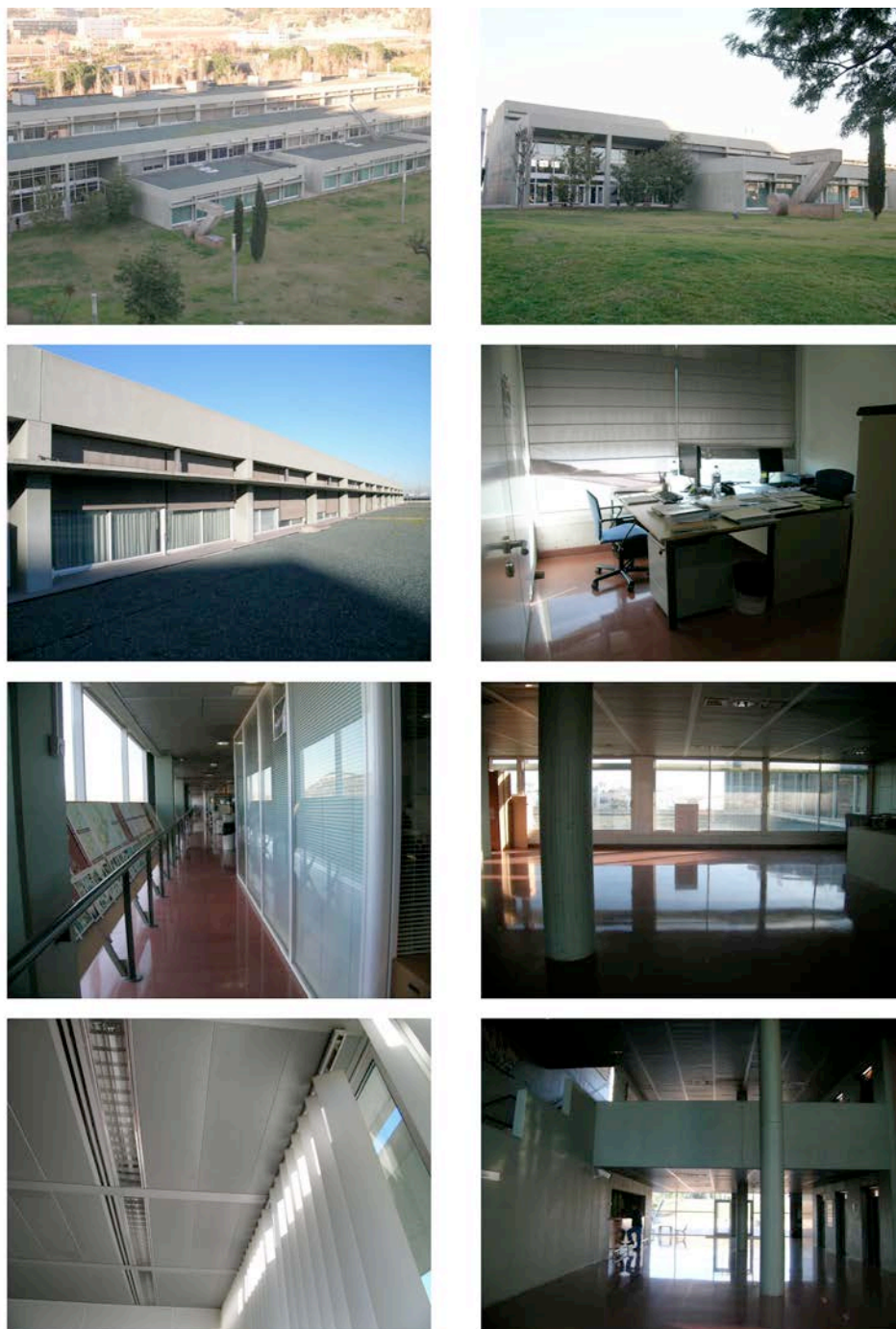


Figura 11. Distintas vistas y detalles del edificio Centre de Servs. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Análogamente a los otros edificios, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones, como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

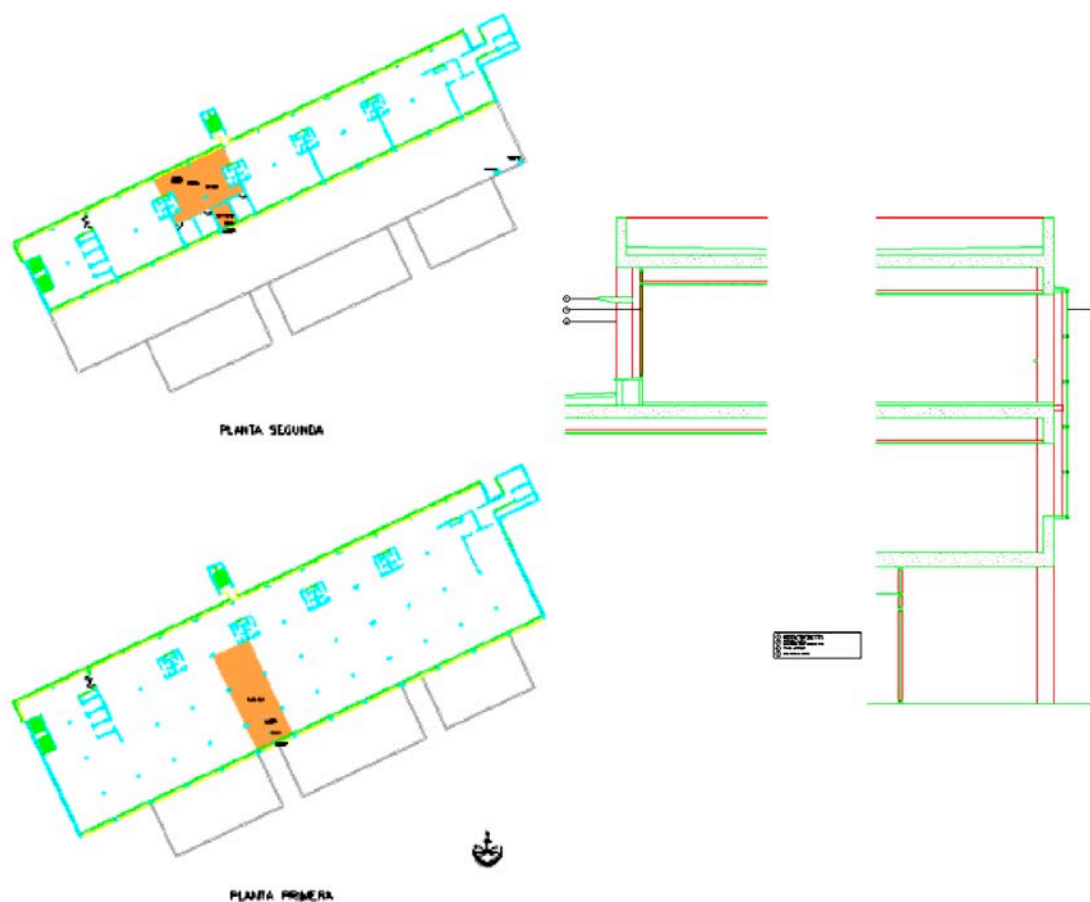


Figura 12. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para Centre de Serveis. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.V. EDIFICIO BP

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

Edificio de oficinas de 9 plantas: sótano, baja, 7 plantas y azotea, el edificio BP fue construido en el año 1975 y fue ocupado el año 1986, con una rehabilitación de las planta 2ª, 6ª y 7ª en 2004. Forma parte de un edificio dividido en cuatro módulos iguales independientes, dos pertenecientes a TMB y uno a l'Àrea Metropolitana de Barcelona. El edificio está formado por una estructura portante de hormigón armado visto, con pilares rectangulares que sobresalen parcialmente de la línea de fachada. La composición de

fachada, entre pilares, es de muro cortina de aluminio anodizado marrón oscuro y cristal desde planta baja hasta la azotea. El acceso principal es por el vial que une las calles 60 y 62. Las plantas del edificio se destinan a los usos siguientes: aparcamiento, almacenes, vestuarios, grupo electrógeno, sala de máquinas, archivo y oficina y taller de mantenimiento (en planta sótano), 2 locales comerciales y vestíbulo de acceso (en planta baja), local comercial, oficinas y servicios (en planta primera), oficinas y servicios (en plantas 2ª a 7ª) y salas de máquinas de climatización y de ascensores (en azotea).

El edificio tiene una superficie útil total de 7.112 m², distribuidos en diversos usos según el programa funcional resumido a continuación,

Tabla 5. Cuadro de superficies según programa de usos en BP. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m²) |
|---------------------------|-----------------------------------|
| Almacenes | 162 |
| Instalaciones | 461 |
| Locales comerciales | 210 |
| Restaurante | 518 |
| Servicios y zonas comunes | 2.242 |
| Oficinas | 3.518 |
| Total | 7.112 |

La estructura del edificio está formada de pilares rectangulares de hormigón armado visto, con jácenas y forjado reticular plano con una resistencia a la sobrecarga de 180 kg/cm² y acero REA 46, con una sobrecarga de uso y tabiquería de 300 Kg/m² en las plantas piso y 100 Kg/m² más 40 Kg/m² de nieve en planta azotea. La reticular de pilares es aproximadamente 4,5 x 5 m y la luz libre entre forjados de 3 m. lo que da una altura total del Edificio desde la rasante de calle de 23 m. Existen dos escaleras interiores, una noble y una de servicio-emergencia y una exterior circular y metálica exclusivamente de emergencia. Está formada por una cubierta plana hecha a base de pendiente formadas por hormigón celular, impermeabilización con telas asfálticas y acabado con rasilla tipo Piera. Las fachadas están formadas por un muro cortina con carpintería metálica de aluminio anodizado color marrón oscuro y cristal que se modula entre pilares que sobresalen de fachada, desde la rasante de la calle a la azotea. Cada módulo de cada planta y entre pilares dispone de una pequeña ventana practicable. El pavimento a base de terrazo gris antracita con mortero de

c.p., pulido y abrillantado in situ, en las plantas rehabilitadas se ha superpuesto moqueta de losetas de 50 x 50 antoestática permanente calidad TATAMI, mientras que los techos son falso techo de fibra mineral tipo Armstrong Minaboard fisurado, en placas de 60x60 con perfilera vista. La altura libre entre pavimento y falso techo es de 2,50 m. En las vestíbulos de ascensores el falso techo está formado por plancha lisa de escayola enlucida y pintada. Por su parte, todas las divisiones que forman las cajas de escalera, ascensores, aseos, galerías de servicios y distribuciones en planta sótano están formadas por obra de fábrica de 10 ó 15 cm. de espesor. Los vestíbulos de ascensores están formados por placa de pladur a doble cara y estucados. En las plantas 2ª, 6 y 7ª rehabilitadas, las divisiones interiores es a base de chasis Flandes aplacadas ambas caras con tablero DM, Ignifugo de 16 mm. grueso para pintar con juntas horizontales a testa tipo “pico gorrión”, puertas lisas con 2 caras DM de 7 mm. para pintar. El resto de divisiones para conformar las oficinas es a base de mamparas doble de perfilera de aluminio y acabada en melaminaa gris. El acabado en las dependencias sanitarias es de revoco y azulejo cerámico de 15 x 15.

El suministro eléctrico se realiza a baja tensión desde una ET situada en la planta sótano, en zona propiedad de l'Àrea Metropolitana y que alimenta al cuadro general de distribución, ubicado en la misma planta del edificio de oficinas. Desde dicho cuadro se distribuye la energía, a través de una galería de servicios, a los subcuadros de cada planta. En cada planta existe un cuadro de control y maniobra. La iluminación de oficinas se realiza por medio de pantallas fluorescentes de 4x36 W y difusor reflectante empotradas en el falso techo. Existe una red luminaria autónoma que entra en servicio en el caso de fallos en el suministro eléctrico. El edificio dispone de un grupo electrógeno capaz de garantizarle suministro eléctrico en caso de fallo en la acometida.

Por su parte, el sistema de climatización consta de una central productora de calor a base de una caldera alimentada por gas natural y una central productora de frío con dos compresores alternativos de funcionamiento eléctrico refrigerados mediante un circuito auxiliar a dos condensadores, todo ello instalado en la azotea del edificio. Estas centrales, calientan el agua que se distribuye por una red de tubería de dos tubos y que se impulsa por dos sistemas de bombas dotados de bomba de reserva. Dicha tubería alimenta dos redes de fan-coils, de una sola batería y tres velocidades de ventilación, distribuidas una por cada fachada del edificio. Así mismo alimentan a dos unidades de FCU por planta que cumplen con la misión de aportar aire del exterior mediante una red de conductos de Gopan y difusores circulares de aluminio, que se distribuyen por la zona de falso techo de las plantas. La regulación se

efectúa mediante termostatos de ambiente situados en la captación de aire de retorno, que actúan sobre los motores de los ventiladores tanto en las FCU's como en los fan-coils. Existen además, cinco sistemas autónomos a base de bomba de calor que climatizan con siete cónsolas las zonas de vestuarios, despacho de mantenimiento y recepción de planta baja. Estas unidades estan ubicadas en planta sótano y la dependencia está dotada de un equipo extractor de aire. Para acondicionar el area de presidencia se ha instalado un equipo independiente CARRIER y además tres equipos independientes GENERAL para 3 despachos de dirección. Todos ellos ubicados en la 7ª planta. Existe documento de detalle de las instalaciones (marcas y modelos).

La instalación de agua fría se alimenta de una acometida situada dentro de una caseta en la que también se halla el contador, ubicada en el perímetro de la finca. La distribución se efectúa mediante tubería de acero galvanizado con accesorios roscados.

No se define la existencia de los recursos o tipos de mantenimiento, ni las características del plan correspondiente.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

El modelo de gestión de este edificio tiene las siguientes características principales:

- ✓ Clima: Sistema sectorizado con posibilidad de regulación en cada zona.
- ✓ Iluminación: Sistema sectorizado, el usuario gestiona el control de la iluminación de la zona. Iluminación sectorizada en interior de zonas pero SIN sensores de presencia
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio cuenta con elementos de sombra móviles, en concreto lamas verticales exteriores.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio dispone de ventanas practicables.

En este edificio los usuarios puede regular la temperatura de la zona, controlar el uso de la iluminación y de los elementos de sombra. En este edificio no se realiza encuesta mensual de satisfacción de usuario.

Imágenes del edificio

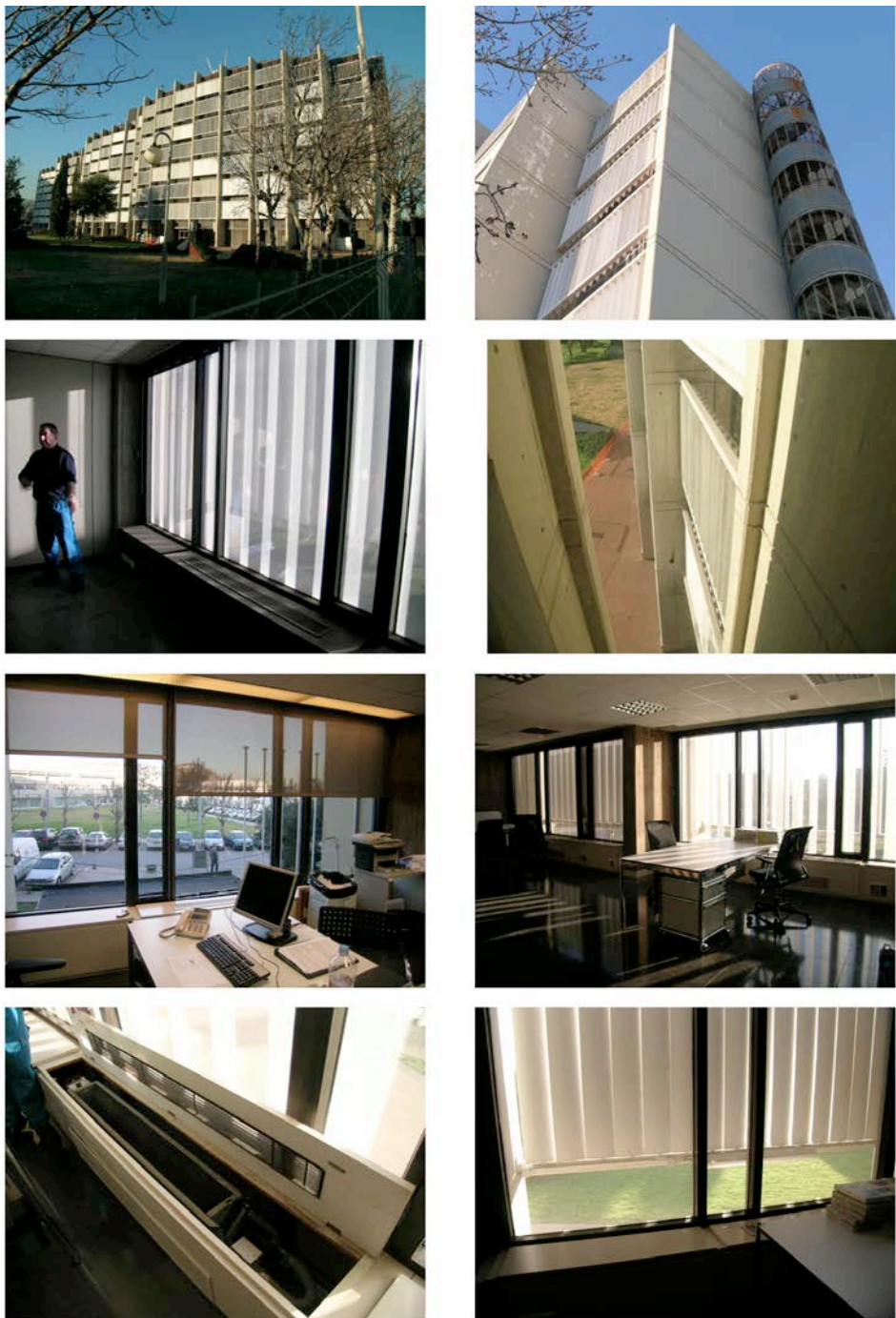


Figura 13. Distintas vistas y detalles del edificio BP. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Análogamente a los otros edificios, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones, como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

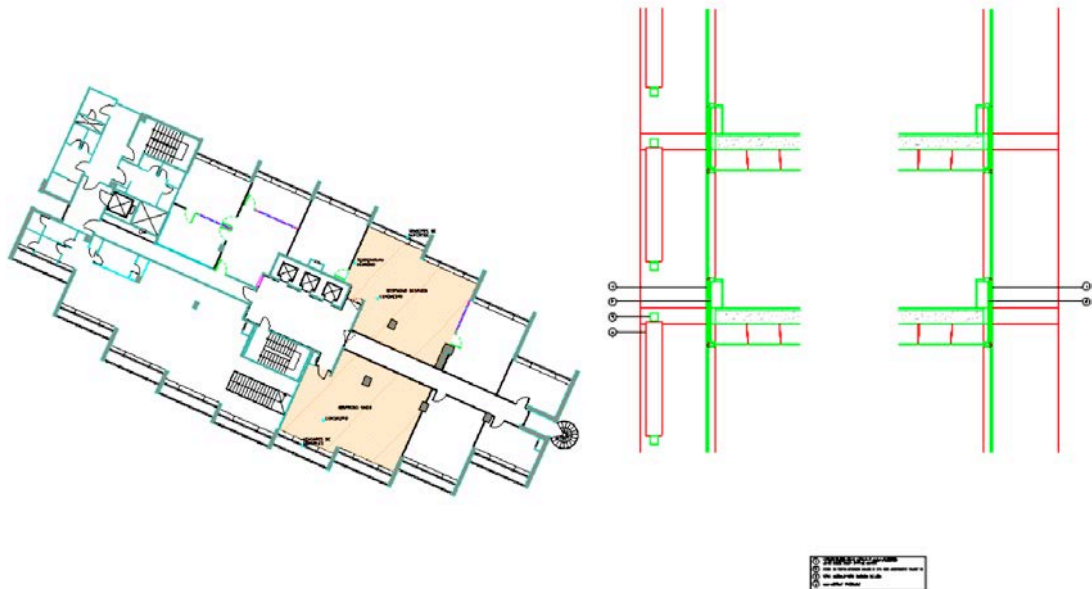


Figura 14. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para BP. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.VI. EDIFICIO ADUANAS

Ficha descriptiva del edificio según información de la propiedad

Edificio de oficinas de la Aduana de Barcelona, dentro del recinto general de Zona Franca Aduanera de El Consorci de la Zona Franca de Barcelona, ocupando actualmente un área delimitada por una cerca de cierre, de una superficie de 3.400 m² comunicándose ambas partes con un acceso peatonal mediante una doble puerta rotatoria, con acceso por la calle 5 del Polígono Industrial de la Zona Franca. Existe una amplia área de aparcamiento y una zona ajardinada

El edificio se halla enclavado en un solar de una superficie total de 96.840 m², constituido por dos edificios conectados el primitivo de solo planta baja de una superficie construida de

437 m² y otro edificio de dos plantas y un cuerpo de planta baja que permite la unión con el otro edificio, construido en 2001 de una superficie total construida de 678,58m², con una superficie total construida de 1.115,58m². Dichas superficies se distribuyen según el siguiente programa de usos funcionales,

Tabla 6. Cuadro de superficies según programa de usos en Aduana.
Fuente: El Consorci de la Zona Franca

| Uso | Superficie (m²) |
|-----------------------|-----------------------------------|
| Oficinas | 709,87 |
| Aseos | 69,26 |
| Archivo | 33,68 |
| Vestíbulo y pasillos | 302,77 |
| Total Superficie útil | 1.115,58 |

El resto de la parcela está ocupado por los edificios A,B,C edificio de con restaurante, muelles aparcamientos exterior con marquesina para automóviles y un almacén de productos peligrosos. El edificio primitivo esta constituido por un cerramiento formado por elementos prefabricados de hormigón en los paramentos verticales y hormigón visto en el alero y forjado, carpintería metálica basculante con acristalamiento sencillo con cubierta a 4 vientos y plana. El nuevo edificio se presenta como un conjunto de volúmenes prismáticos con un acristalamiento en muro cortina, fachada ventilada con panel sándwich tipo Alucobond de color gris, fachada ventilada con muro cortina con granito color rosa, y carpintería de aluminio con amplios ventanales y cubierta invertida.

El edificio primitivo es de una estructura de pilares metálicos sobre cimentación de zapatas, forjado reticular de hormigón con voladizos de hormigón visto. La estructura del nuevo edificio es mediante pilares y jácenas en acero laminado formando pórticos hiperestáticos y forjados de losas prefabricadas de hormigón, el arriostramiento de la estructura es por medio de jácenas metálicas. La sobre carga prevista para la planta primera es de 300 Kg./m² excepto en la zona de archivos que es de 500 Kg/m². La cubierta del edificio primitivo es a cuatro aguas y plana tipo invertida. En el nuevo edificio la cubierta es invertida formadas por: Hormigón celular para formación de pendientes del 2%, impermeabilización multicapa constituida por una lámina bituminosa soldada, plancha de espuma rígida de poli estireno extruido de 60 mm. de espesor, capa de recubrimiento exterior separadora de fieltro

geotextil y una capa de grava de 5 cm. de espesor de canto rodado. Las fachadas del edificio primitivo esta formado por paneles prefabricados de hormigón, tipo “sándwich” con aislante térmico basado en poli estireno expandido. El acabado exterior es de árido grueso lavado y carpintería metálica. El nuevo edificio tiene cuatro tipos básicos de cerramientos: la fachada Este es un muro cortina modular de retícula 1.80x0.90, con rotura integral de puente térmico, doble acristalamiento de lunas tintadas con coeficiente refractor del 60%, zonas opacas con acristalamiento exterior ventilado e interior de panel sándwich formado por chapa metálica galvanizada y aislamiento de espuma de poliuretano, estructura de soporte de perfiles de aluminio anclados al suelo y a los dos forjados. La fachada Nord-este ventilada formada exteriormente por paneles sándwich de locubond modulada de 1.80x0.90, colgadas sobre perfiles de acero galvanizado sobre cerramiento de tabique de ladrillo perforado 15 cm. tipo Gero. El cerramiento en zona de archivo es ventilada, interiormente es tabique de fábrica de ladrillo perforado de 15 cm. y exteriormente por placas de granito rosa colgadas sobre perfiles de acero galvanizado. La carpintería de ventanas en aluminio lacado y acristalamiento con cámara con hojas batientes basculantes y hojas fijas. Por su parte, el pavimento general es de terrazo tipo microgramo de 40x40 pulido de color gris. En los aseos es de gres porcelánico en piezas de 40x40 color gris. Los peldaños de las escaleras es de aglomerado de madera alta densidad barnizado de 29 mm. de espesor. Los falsos techos fijos en zonas de oficinas es de placas de pladur liso soportado con estructura oculta de perfil de acero galvanizado. El resto del falso techo con placas desmontables de fibra mineral de 60x60 apoyadas en perfilaría de aluminio suspendida de los forjados, en las zonas de aseos es con placas de fibra mineral de 60x60 plastificada. En pasillo planta baja con planchas Eraclit fono absorbente. Finalmente, la tabiquería es solo en los cuartos de agua y alicatado cerámico en paredes aseos. Aplacado de madera contrachapado en vestíbulos y escalera.

La instalación parte del cuadro general de contadores y de distribución general existente en planta baja del edificio “A” de Zona Franca Aduanera a un cuadro secundario situado en la recepción de planta baja, de una potencia máxima de 90 KW, desde donde parten las líneas de alumbrado y fuerza y la alimentación al SAI ubicado en cuarto de servicios de la segunda planta desde el que se alimenta los distintos puntos de trabajo para ordenador. Alumbrado en oficinas con falso techo luminaria empotrada en falso techo de 60x60 cm. modelo OD-3361 con 1x55W tubo T55HF. En mostrador luminarias empotradas Downlight para tubo TC-T 18W. En zonas de paso hay una iluminación indirecta, por reflexión, adosadas a los pilares.

La climatización es del sistema denominado V.R.V. con recuperación de calor, por medio de unas instalaciones de bomba térmica reversibles, que suministran según demanda calor o frías de modo simultáneo e independiente. La climatización se efectúa mediante dos sistemas autónomos de condensación por aire, dotados de bomba de calor. Uno climatiza el edificio primitivo y el otro el nuevo, ubicados en la cubierta que une ambos edificios. Cada sistema está refrigerado por gas R-22 con sistema de recuperación de calor, compuestos cada uno de ellos por 2 módulos de funcionamiento constante y de 1 módulo con regulación para Invertir para ajustar la producción de energía a la demanda térmica existente. Las unidades interiores son de tipo conductos para situar en falso techo y distribuir el aire tratado a través de difusores y rejillas. En el distribuidor de planta piso hay dos unidades tipo consola de suelo. La aportación de aire exterior para la renovación de aire se realiza mediante unidades de ventilación distribuyéndose mediante conductos de fibra de vidrio. En la zona de aseos la ventilación es directa al exterior y esta reforzada mediante extracción mecánica forzada por medio de un extractor centralizado ubicado en la cubierta.

Internamente la instalación de fontanería es con tubo de polipropileno copó limero termo soldable, los montantes y ramales de distribución de agua van vistos por patios donde se hallan las válvulas seccionamiento. El agua caliente se produce por medio de un termo calentador eléctrico de 100 litros instalado en el aseo de la planta primera.

No se define la existencia de los recursos o tipos de mantenimiento, ni las características del plan correspondiente.

Otras características de la visita del equipo de trabajo al edificio y sobre encuestas de la propiedad

En dicho edificio, los elementos de gestión y operación del edificio se definen según:

- ✓ Clima: Sistema sectorizado con posibilidad de regulación en despacho, no en zonas comunes.
- ✓ Iluminación: Sistema sectorizado, el usuario gestiona el control de la iluminación de la zona. Iluminación sectorizada en interior de zonas pero SIN sensores de presencia.
- ✓ Elementos de sombra móviles: El edificio no cuenta con elementos de sombra.
- ✓ Apertura ventanas: El edificio dispone de ventanas practicables.

En este edificio los usuarios puede regular la temperatura de la zona, controlar el uso de la iluminación, aunque no se dispone de elementos de sombra.

Nuevamente en este edificio se realizan encuestas mensuales de confort térmico de los usuarios;

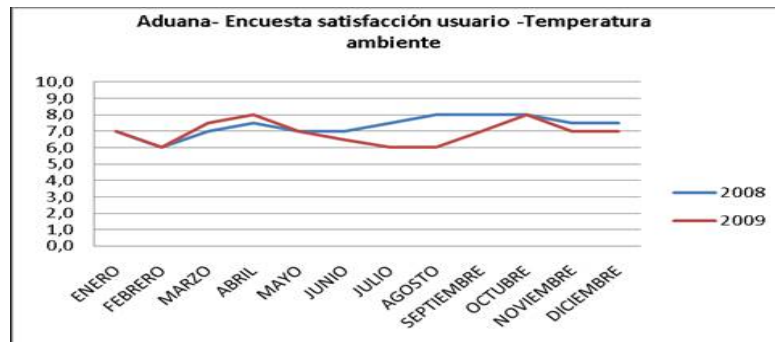


Figura 15. Encuestas internas de satisfacción del usuario en Aduana. Fuente: El Consorci de la Zona Franca

En donde no se obtienen unas puntuaciones correspondientes al máximo de confort, pero los valores son razonablemente satisfactorios y sin grandes situaciones de disconfort ni por frío ni por calor.

Imágenes del edificio

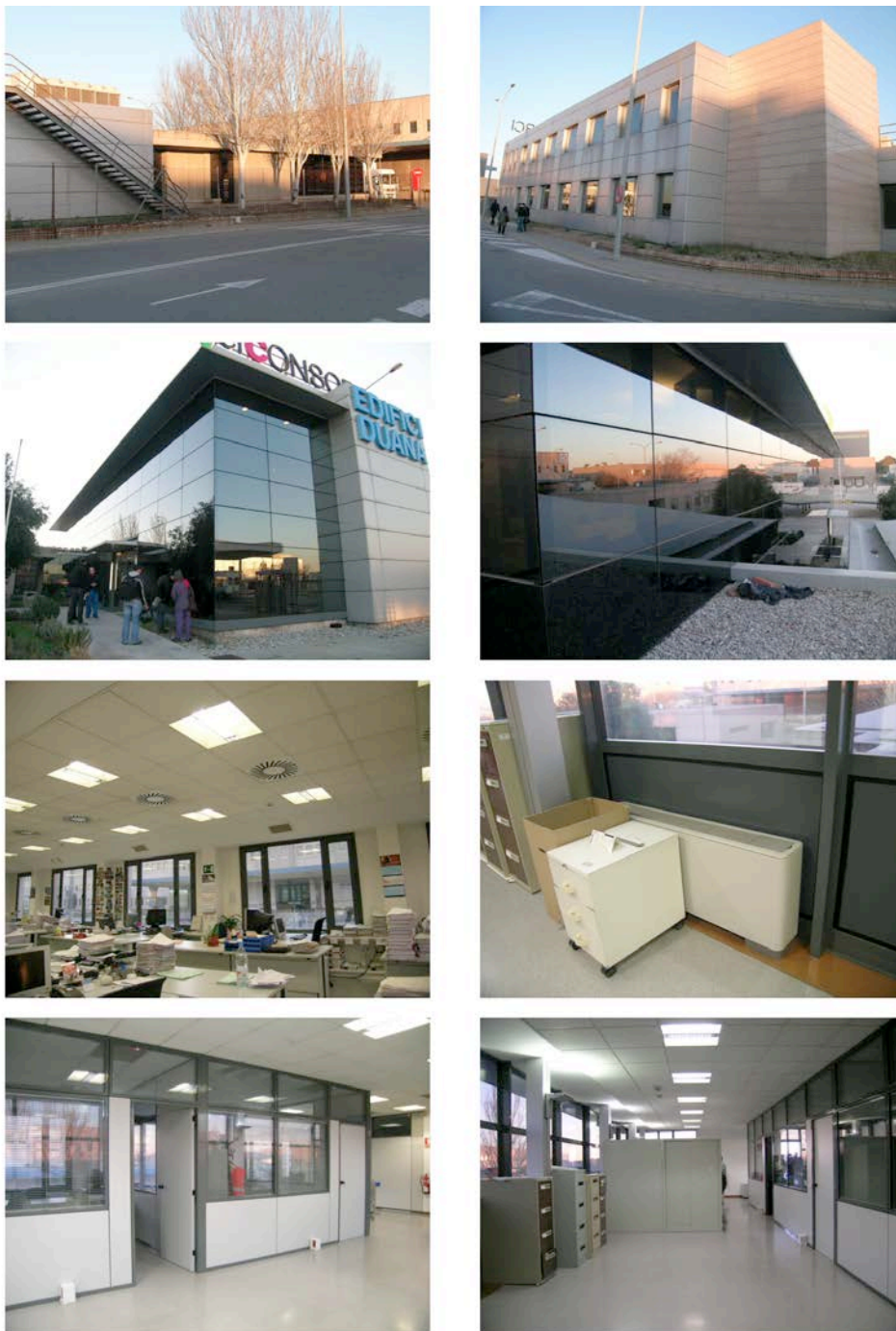


Figura 16. Distintas vistas y detalles del edificio Nexus II. Fuente: Elaboración propia.

Modelos CAD desarrollados para la caracterización del edificio

Análogamente a los otros edificios, se desarrollan modelos CAD específicos, tanto como base de las simulaciones, como para su uso en difusión de, por ejemplo, la situación de los sensores de monitorización.

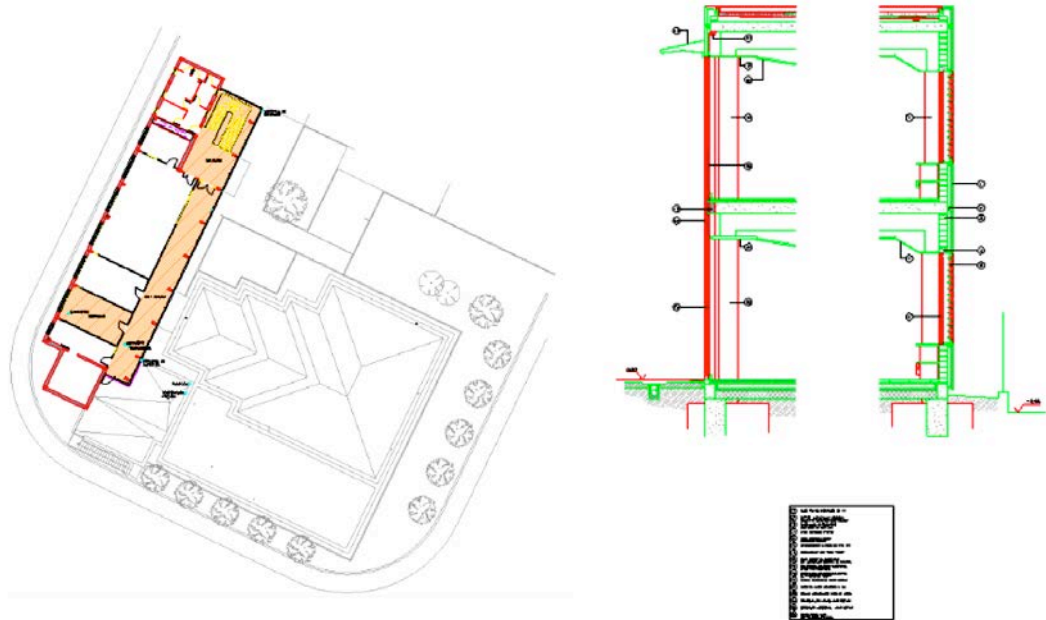


Figura 17. Modelos CAD de planta tipo y sección de solución de fachada para Aduanas. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Donde en planta se remarcan las zonas en que se monitoriza el comportamiento del edificio. En la entrega informática de la presente Tesis, se adjuntan los ficheros CAD correspondientes.

ANEXO I.VII. EDIFICIO SEDE CENTRAL EL CONSORCI DE LA ZONA FRANCA

Aunque dicho edificio no formaba parte de los casos reales de análisis de la Tesis, se valora positivamente la posibilidad de analizar cualitativamente el comportamiento del mismo. Dicho edificio fue motivo de una auditoría energética de detalle realizada por AIGUASOL (y el Doctorando) previamente al trabajo de Tesis aquí presentado. Se entiende que no es motivo de la presente Tesis mostrar los análisis realizados en este caso, ni aportar más información que la presente puramente cualitativa, y fruto de los resultados obtenidos en su día.

Se trata de un edificio de planta irregular, con distintas alturas y plantas por orientaciones, y con una solución de fachada totalmente transparente en base a doble hoja en la que se han incorporado, además de los elementos de sombra móviles originales, una película de control solar para mitigar el sobrecalentamiento de espacios observado.

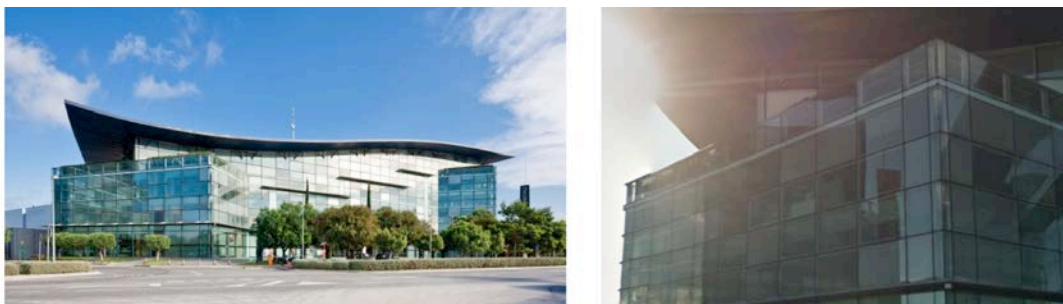


Figura 18. Imágenes de la Sede central de El Consorci de la Zona Franca. Fuente: CZF y Google maps.

En la Sede Central de El Consorci de la Zona Franca, el modelo de gestión de este edificio tiene las siguientes características principales:

- Clima: Sistema sectorizado con posibilidad de regulación de temperatura en despachos, no en zonas comunes. Existe un sistema de gestión centralizado para todo el edificio, con temperaturas de consigna fijas todo el año.
- Iluminación: Sistema centralizado. Los despachos cuentan con la posibilidad de regular la iluminación, pero no las zonas comunes ni las zonas de trabajo diáfanas. Existen detectores de presencia.
- Elementos de sombra móviles: El edificio cuenta con elementos de sombra.
- Apertura ventanas: El edificio no dispone de ventanas practicables.

De la mencionada auditoria energética completa, se constató que las demandas de refrigeración dominaban durante casi todos los meses del año. También se vio que las fachadas ventiladas no proporcionan ninguna contribución positiva desde el punto de vista de la demanda de energía para clima. De hecho, la temperatura máxima en la cámara de aire de las fachadas con componente Oeste (W, NW, SW), se encontraban, en el momento de análisis, por encima de los 45°C en periodos representativos, generando una componente importante sobre la carga térmica de refrigeración. Igualmente, el efecto del uso de los elementos de sombra móviles (lamas tipo venecianas situadas en el interior de las fachadas ventiladas) permitía, como se comprobó de datos monitorizados y simulaciones TRNSYS de detalle, la reducción de la demanda total de climatización. Sin embargo, estos mismos elementos producían, por su efecto rebote de la radiación incidente en fachada, un

incremento de la temperatura del aire interior de las dobles pieles ventiladas, que en las orientaciones oeste alcanzaban picos de hasta 50°C.

Como se ha mencionado, a pesar de una metodología de análisis análoga a la presentada en la Tesis, y a disponer, por tanto, tanto de medidas de demanda y consumo, y modelos TRNSYS del edificio, el mismo no forma parte de las fases de análisis y valoración de los resultados teóricos, aunque sí que se ha considerado en la constatación de la problemática, y en la definición de los casos de análisis teóricos.

ANEXO II. DATOS OBTENIDOS DEL PERÍODO DE MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA

ANEXO II.I. ESQUEMAS DE PUNTOS DE MONITORIZACIÓN DE EDIFICIOS

Considerando los objetivos del análisis de Tesis, así como la disponibilidad de los edificios de referencia y la viabilidad del período de monitorización, se determinan las zonas de análisis caso a caso. En cada edificio se monitorizan varias zonas, intentando siempre que alguna de ellas esté desocupada para comprobar el comportamiento en libre evolución, y considerando distintas orientaciones.

En todos los casos se instalan sensores de Temperatura y Humedad relativa, así como de luminosidad ambiente (en superficie de trabajo). Igualmente se utilizan sensores de Temperatura superficial para medir las temperaturas en las hojas interiores y/o exteriores de las fachadas de los edificios. Igualmente, y en los períodos de monitorización, se instala centrales meteorológicas, considerando que los edificios se pueden agrupar según su cercanía: Nexus I y Nexus II en el Campus Norte de la UPC, Centre de Serveis, El Pla y BP en la Zona Franca de Barcelona, y Aduana (también en la Zona Franca, pero lejos de los anteriores). Igualmente las mismas se utilizan en comparativas cualitativas para comprender el comportamiento de los edificios, y no en la simulación de los mismos (que se realiza en base a ficheros sintéticos de año tipo climatológico). Las centrales meteorológicas se compone de sensores de Temperatura, Humedad relativa, Radiación, Pluviometría, e Intensidad y Orientación del viento, aunque se considera que estos últimos datos son poco representativos por la complejidad de obtener registros independientes de las turbulencias locales.

Para cada uno de los edificios se muestra, a continuación, los esquemas inicialmente planteados de colocación de los sensores. En dichos esquemas se representa la planta de cada edificio en cuestión, con las zonas monitorizadas, así como la posición de los sensores. En algunos de los casos, se utiliza una nomenclatura según,

Tabla 7. Nomenclatura identificación sensores monitorización. Fuente: Elaboración propia

| Nomenclatura | Variables de medición |
|---------------------|--|
| N1THramb_# | Temperatura y Humedad relativa ambientes |
| N1TL_# | Temperatura ambiente y luminosidad |
| N1Twext_# | Temperatura superficial hoja exterior |
| N1Twint_# | Temperatura superficial hoja interior |

Puntos de instalación en Nexus I

Para el edificio Nexus I, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;

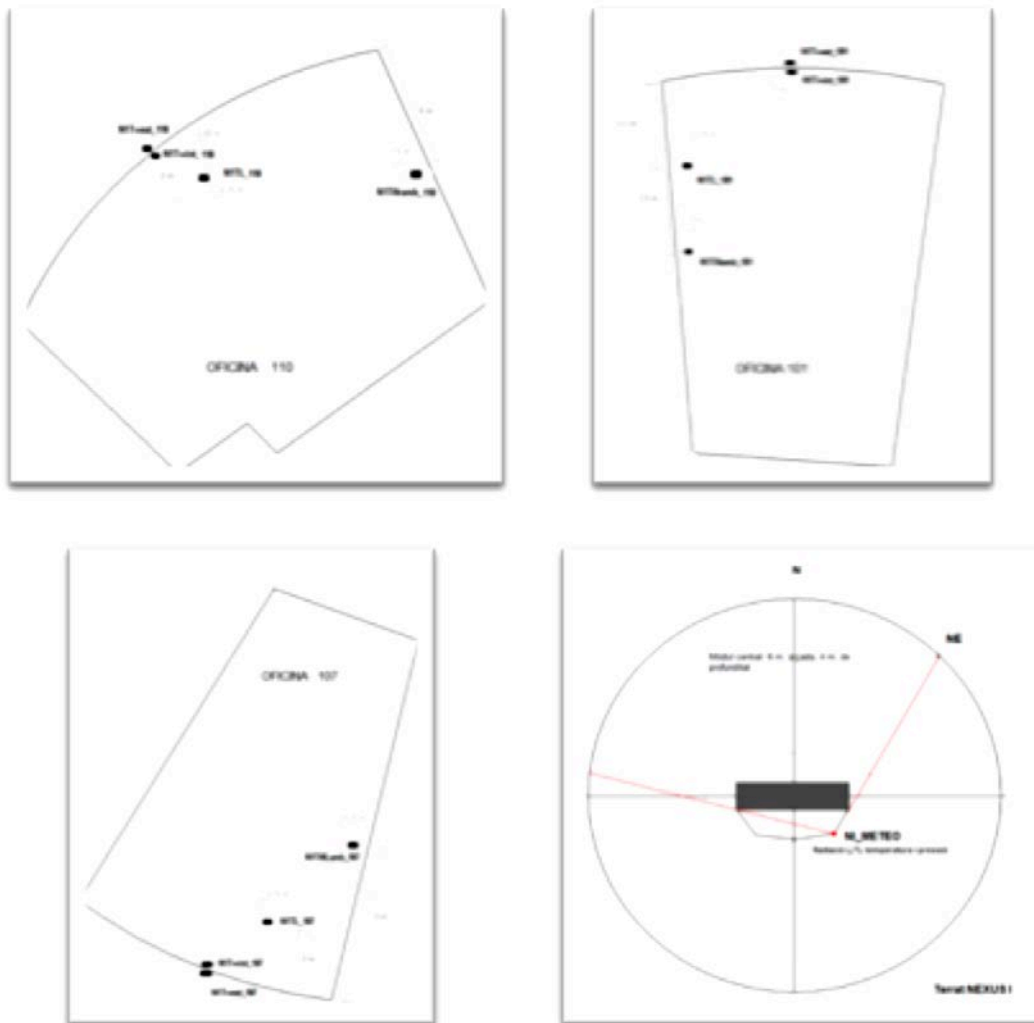


Figura 19. Posicionamiento de sensores en edificio Nexus I. Oficina SE ocupada de planta 1 (superior izquierda), oficina NE ocupada planta 1 (superior derecha), oficina SW desocupada de planta 1 (inferior izquierda) y estación meteorológica en cubierta (inferior derecha). Fuente: Elaboración propia.

En donde, como se muestra, para el edificio Nexus I se instala una central meteorológica, considerados también representativos para Nexus II (en la misma calle).

Puntos de instalación en Nexus II

Para el edificio Nexus I, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;

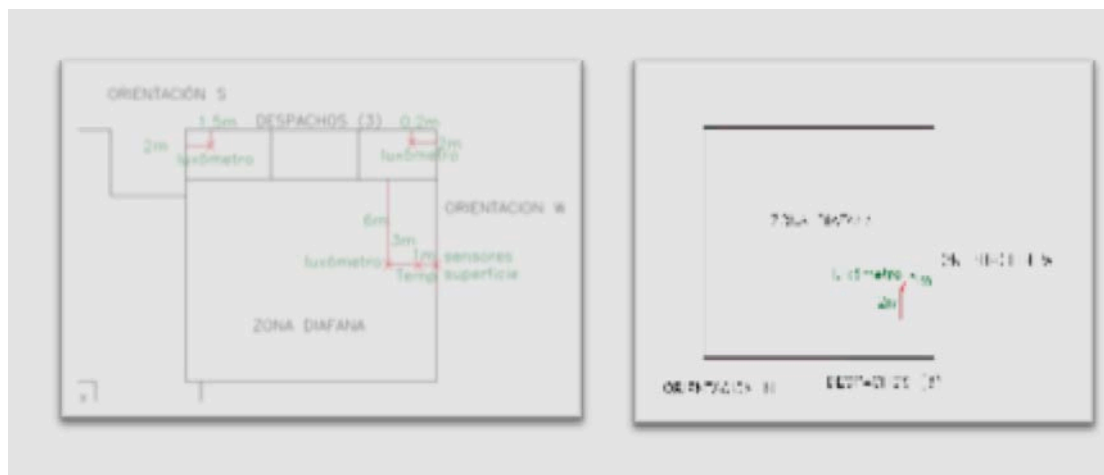


Figura 20. Posicionamiento de sensores en edificio Nexus II. Oficina SW ocupada de planta 1 (izquierda), y oficina NW ocupada planta baja (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Puntos de instalación en El Pla

Para el edificio El Pla, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;



Figura 21. Posicionamiento de sensores en edificio El Pla. Oficina SE ocupada de planta 1 (izquierda), oficina NW ocupada planta 1. Fuente: Elaboración propia.

Puntos de instalación en Centre de Serveis

Para el edificio Centre de Serveis, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;

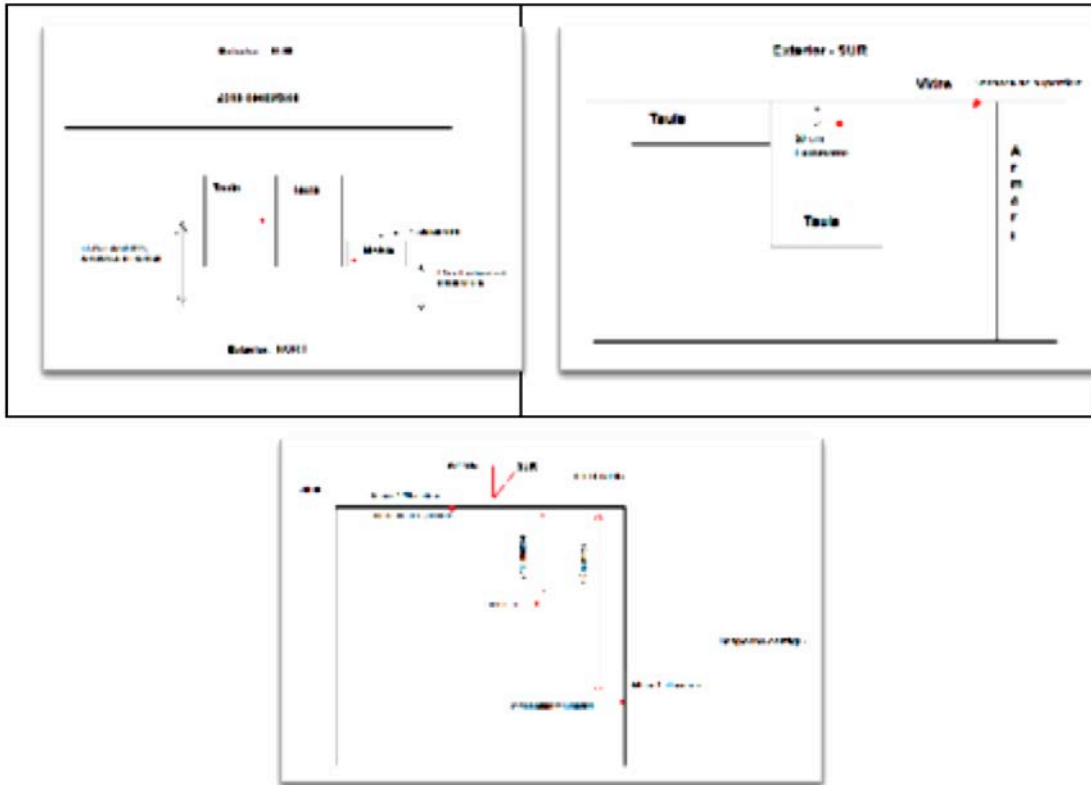


Figura 22. Posicionamiento de sensores en edificio Centre de Serveis. Espacio diáfano N ocupado de planta 2 (superior izquierda), oficina S ocupada planta 2 (superior derecha) y oficina S desocupada de planta 1 (inferior). Fuente: Elaboración propia.

En este edificio se instala una central meteorológica cuyos datos se consideran representativos de las condiciones exteriores también para el resto de edificios, situados Zona Franca de Barcelona (El Pla y BP).

Puntos de instalación en BP

Para el edificio El Pla, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;

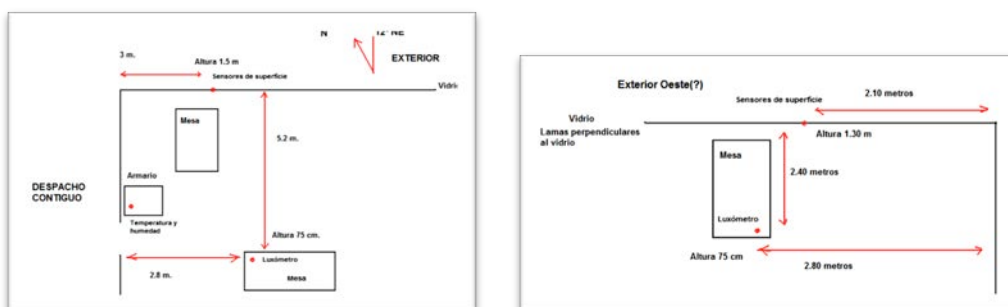


Figura 23. Posicionamiento de sensores en edificio BP. Oficina N ocupada de planta 1 (izquierda) y oficina W desocupada planta 1 (derecha). Fuente: Elaboración propia.

Puntos de instalación en Aduana

Para el edificio El Pla, se consideran los siguientes sensores instalados en las zonas de análisis señaladas;

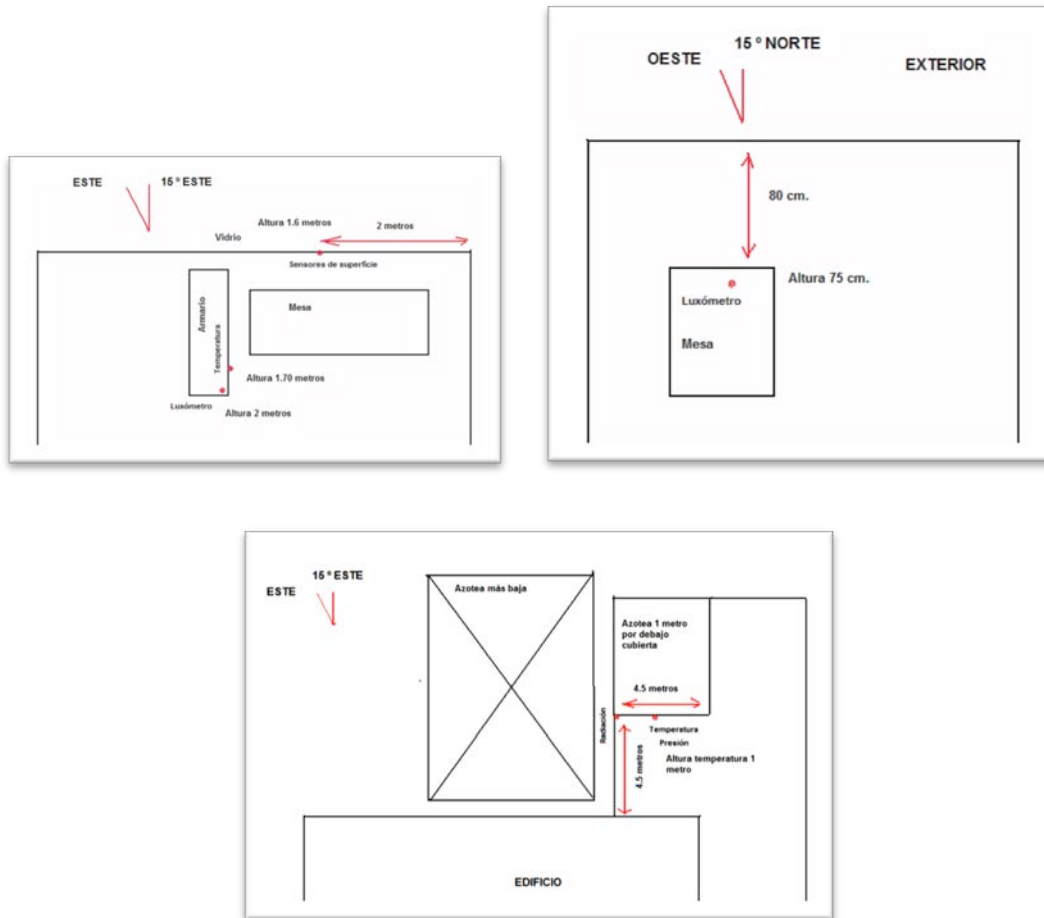


Figura 24. Posicionamiento de sensores en edificio Aduana. Zona diáfana E ocupada de planta 1 (superior izquierda), oficina NW ocupada planta 1 (superior derecha) y posición de la estación meteorológica (inferior). Fuente: Elaboración propia.

ANEXO II.II. INFORMES DE LOS DATOS DE MONITORIZACIÓN

Más allá de los datos de registros obtenidos de las monitorizaciones de las distintas zonas de los edificios de referencia, y de su tratamiento (adjuntos ambos en el CD de entrega digital), para cada uno de los edificios se lleva a cabo un análisis de detalle de los valores obtenidos. La finalidad del mismo es determinar, en base a los registros, el comportamiento y operación de estos edificios, tanto para consolidar la hipótesis inicial de trabajo (que los edificios de uso oficinas en clima Mediterráneo tienen elevados consumos y condiciones de confort limitadas), como para contribuir en la definición de los casos teóricos de análisis y las hipótesis de simulación.

Características observadas para el edificio Nexus I

Oficina 101

La zona se ocupa de forma puntual para reuniones en horarios laborales, y en la misma las protecciones solares se mantienen siempre activadas.

La adquisición de datos de la estación meteorológica se inició un día después que la del resto de sensores. Por tanto no existen datos meteorológicos disponibles para el día 1. La temperatura ambiente interior se mantiene bastante constante entre 20 y 25°C, por lo que parece estar dentro de los rangos de confort. La temperatura de contacto interior del cristal, Twint, llega a valores de 40°C, por lo que la temperatura radiante de la sala será bastante elevada.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- La estación meteorológica se encuentra en el edificio mismo edificio objeto del estudio, cabe destacar que la estación entro en funcionamiento un día después de la fecha de inicio de monitorización, el sensor de radiación solar no nos da directamente los datos de W/m2.
- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es superior a la exterior del vidrio, cuando no incide el Sol, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. En el momento que incide el Sol, la temperatura del vidrio exterior aumenta, con lo que aporta ganancias térmica por conducción. La diferencia de temperatura interior ambiente y exterior ambiente oscila entre los 15°C por la noche y los 5 grados cuando la temperatura exterior asciende por efecto del Sol.
- Se observa que en los datos de radiación solar del jueves, Día 3, son muy menores que los demás días, debido a que era un día nublado, esta disminución de la radiación provoca una disminución importante de la iluminación natural dentro de la zona, pasando esta de los 150 lux de los otros día a los 30 lux del jueves.

- Esta zona no está climatizada, aún siendo así la temperatura interior ambiente no desciende de los 20°C, esto puede ser debido a la influencia de los locales climatizados que están a su alrededor, ya que la mayor parte de la superficie de cerramientos da a locales climatizados.
- En esta zona únicamente encontramos intensidad lumínica natural, esta iluminación da unos valores entre 100 y 200 lux, se observa que el lunes se encendió la iluminación artificial de 18 a 20 horas la cual da una intensidad lumínica también cercana a los 200 lux.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- La intensidad lumínica es únicamente natural, y proporciona unos 100-200 lux de media, debido a la no ocupación de la zona. Las protecciones solares, estaban 24 horas cerradas, lo que comporta que el índice Lux/lux normativos está cercano al 30% en las horas de máxima incidencia solar, aún con las protecciones solares.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación es cercano a 50, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico son alrededor de 50%. Los valores de discomfort pueden llegar cerca del 100% de personas, esto es debido a la temperatura de pared al incidir el Sol y a la alta temperatura ambiente (debido a que la climatización no está conectada).
- Se destaca que observando el índice PMV, la mayoría de usuarios sufrirían por exceso de calor cuando incide el Sol directamente sobre la superficie acristalada y de frío cuando no incide.

Oficina 107

La zona queda ocupada de 8:00h a 20:00h en días laborales, por una ocupación de entre 5 y 6 personas. El perfil de clima es de 24°C de 8:00 a 19:00h en los días laborales, con una ventilación acorde a estos horarios. La iluminación se activa de 7:50h a 20:30h en días laborales.

La adquisición de datos de la estación meteorológica se inició un día después que la del resto de sensores. Por tanto no existen datos meteorológicos disponibles para el día 1. Se destaca que el sensor que se instaló para registrar los datos de temperatura de contacto exterior del crista Twext, no registró correctamente, por lo que no se dispone de estos datos. La temperatura ambiente interior se mantiene bastante constante entre

20 y 25°C, por lo que parece estar dentro de los rangos de confort. La temperatura de contacto interior del cristal, Twint, no llega a valores de 25°C, por lo que la temperatura radiante de la sala será bastante adecuada para el confort térmico de los usuarios, no asciende tanto como en otras zonas del mismo edificio debido a la orientación norte de la zona.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- La estación meteorológica se encuentra en el edificio mismo edificio objeto del estudio, cabe destacar que la estación entró en funcionamiento un día después de la fecha de inicio de monitorización, el sensor de radiación solar no nos da directamente los datos de W/m².
- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es superior a la exterior del vidrio, cuando no incide el Sol, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. En el momento que incide el Sol, la temperatura del vidrio exterior aumenta, con lo que aporta ganancias térmicas por conducción. La diferencia de temperatura interior ambiente y exterior ambiente oscila entre los 15°C por la noche y los 5 grados cuando la temperatura exterior asciende por efecto del Sol.
- La temperatura de set point de climatización es de 24°C. En horas de no ocupación la temperatura de la zona no desciende de los 20°C, con los datos de monitorización no se observa si es debido al sistema de climatización, ya que no se observan arranques o paradas de máquinas.
- La intensidad lumínica natural crece de forma pausada hasta los 250 lux, la media del valor de iluminación natural es de 200 lux. La aportación de iluminación artificial es de 300 lux adicionales.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación, alrededor de 1. Podemos concluir que la iluminación es la adecuada para el tipo de trabajo que se realiza. En los días de no ocupación el índice está cerca

de los 0.4, por lo que se deduce que la iluminación natural da un 40% de la iluminación normativa.

- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son cercanos a 5, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 5%. En horas de no ocupación este valor asciende a valores cercanos a 30, lo que significa que un 30% de los usuarios estaría en discomfort.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cercanos a 0) nos indican que los usuarios en su mayoría no tienen discomfort ni por frío ni por calor. En los periodos de no ocupación (no climatización) el índice PVM nos indica que los usuarios estarían en un discomfort moderado por frío.

Oficina 110

La oficina presenta una ocupación en días laborales de 8:00 a 18:30h, menos los lunes que queda ocupada hasta las 21:00h, con una presencia de entre 5 y 6 personas. La climatización funciona las 24h en días laborales, con una temperatura de consigna diurna (de 8:30h a 19:00h) de 24°C, y nocturna de 20°C. La ventilación funciona en horarios diurnos justo con la climatización. La iluminación se activa en los mismos horarios en que existe ocupación.

La adquisición de datos de la estación meteorológica se inició un día después que la del resto de sensores. Por tanto no existen datos meteorológicos disponibles para el día 1. La temperatura ambiente interior se mantiene bastante constante entre 21 y 25°C, por lo que parece estar dentro de los rangos de confort. La temperatura de contacto interior del cristal, T_{wint} , no llega a valores de 24°C, por lo que la temperatura radiante de la sala será bastante adecuada para el confort térmico de los usuarios, no asciende tanto como en otras zonas del mismo edificio debido a la orientación este de la zona.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- La estación meteorológica se encuentra en el edificio mismo edificio objeto del estudio, cabe destacar que la estación entró en funcionamiento un día después de la fecha de inicio de monitorización, el sensor de radiación solar no nos da directamente los datos de W/m^2 .

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es superior a la exterior del vidrio, cuando no incide el Sol, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. En el momento que incide el Sol, la temperatura del vidrio exterior aumenta, con lo que aporta ganancias térmicas por conducción. La diferencia de temperatura interior ambiente y exterior ambiente oscila entre los 15°C por la noche y los 5 grados cuando la temperatura exterior asciende por efecto del Sol.
- La temperatura de set point de climatización es de 24°C. En horas de no ocupación la temperatura de la zona no desciende de los 20°C, con los datos de monitorización no se observa si es debido al sistema de climatización, ya que no se observan arranques o paradas de máquinas.
- La intensidad lumínica natural en el punto de colocación del sensor es de unos 200 lux de media, esta valor oscila desde los 400 hasta los 100 lux según la incidencia del Sol en el cristal. La iluminación artificial aporta unos 150 lux adicionales, y funciona en días laborables desde la 8:00 hasta las 18:30. Se demuestra que la colocación del luxómetro no esta precisamente en el lugar de trabajo, con lo que los valores en el lugar de trabajo pueden ser superiores.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación está alrededor de 0,5, con lo que podemos concluir que la iluminación es un poco inferior a la marcada por la normativa, esto puede ser debido a la colocación del sensor (desplazado del lugar de trabajo)
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son cercanos a 5, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 5%.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (ceranos a 0) nos indican que los usuarios en su mayoría no tienen discomfort ni por frío ni por calor. En los periodos de no ocupación (no climatización) el índice PVM nos indica que los usuarios estarían en un discomfort moderado por frío.

Características observadas para el edificio Nexus II

Oficina BSC entrada

La oficina de BSC al lado de la entrada se usa de forma puntual (una persona) de 11:00 a 21:00h intermitentemente. No se determina climatización ni ventilación específicas, y la iluminación se activa de 16:00h a 21:00h. Habitualmente las protecciones solares quedan activadas.

En esta zona no se colocan sensores de temperatura de contacto de vidrio interior y exterior, ya que únicamente se colocan en el cristal de la sala diáfana porque tiene la misma composición.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- Este despacho no ha estado ocupado en todo el período de monitorización, la persona que lo ocupa, entra y sale puntualmente. Se destaca que aún que la persona no este físicamente en el despacho si que interacciona con, el ya que pone en marcha el aire, y la iluminación, sin cerrarla cuando no lo utiliza.
- La temperatura de set point de climatización se observa que es próxima a los 20°C. El aumento de la temperatura hasta los 26,5°C en horas de ocupación es debido básicamente a la radiación solar. Se ha detectado que en días laborables se deja la climatización en marcha con una temperatura de set point cercana a los 18°C.
- La intensidad lumínica natural es superior a los 1000 lux, se observa que la iluminación artificial da un valor cercano a los 60 lux, en días laborables abiertos hasta las 21:00, se observa también que la iluminación artificial se ha dejado en marcha toda la noche de lunes a martes. Este valor tan bajo de esta iluminación artificial es debida a la colocación del sensor, el cual no esta en el lugar de trabajo.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- La intensidad lumínica que se presenta en los gráficos es exclusivamente natural ya que la zona no estaba ocupada, en el periodo de monitorización, esta iluminación es superior a los 1.000 lux. El índice de Lux/Lux normativo es entre 5 y 6 veces superior al normativo cuando incide el Sol.
- Los valores de PPD nos indican una oscilación de entre los valores de 50 y 5, esto nos indica que a lo largo del día las personas que están discomfort oscila entre el 50 y el 5%.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (entre 0 y -1) nos indican que los usuarios tendrían un discomfort leve por acceso de frío.

Oficina BSC fondo

Oficina ocupada por una persona, en horario de días laborales de 8:30h a 18:00h. La climatización y ventilación mecánicas funciona en el mismo horario de ocupación, a una temperatura de consigna de 24°C. Las protecciones solares a S siempre permaneces cerradas, mientras que las situadas a W permanecen parcialmente cerradas.

Nuevamente no se colocan sensores de temperatura de contacto de vidrio interior y exterior, ya que únicamente se colocan en el cristal de la sala diáfana porque tiene la misma composición.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura de set point de climatización es de máxima 25°C, por la noche cuando no hay ocupación la temperatura desciende hasta los 19°C. El aumento en horas de ocupación es debido a cargas internas y radiación solar. El perfil que describe la temperatura interior esta muy influenciada por la temperatura exterior, ya que las dos describen un perfil similar. El fin de semana cuando

no hay ninguna ocupación la temperatura es bastante constante y cercana a los 20°C

- La intensidad lumínica natural sigue en todo momento el perfil que genera la radiación solar, llegando a valores superiores a los 1.000 lux, el aporte de iluminación artificial es cercana a los 200 lux.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo nos marca que la iluminación es entre 5 y 6 veces superior al normativo cuando incide el Sol.
- Los valores de PPD oscilan entre 40 y 10 % de personas que están en discomfort.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (entre 0 y -1) nos que sienten molestias por exceso de frío, podría ser debido a que no se disponen de temperaturas de pared ni humedad en esta zona, es decir que el índice no se puede calcular correctamente

Sala diáfana BSC

La sala diáfana opera de 9:00h a 18:00h en días laborales, con una ocupación promedio de 25 personas. El sistema de clima funciona ininterrumpidamente a una temperatura de consigna de 25°C, con ventilación mecánica diurna. La iluminación tiene el mismo perfil que la ocupación.

Se destaca que este edificio dispone de doble cristal con un canal interior, de aquí que se presentan los datos de temperatura de contacto del cristal con dos extensiones, la primera extensión (ext o int) que identifica la posición del cristal, la segunda extensión (est o int) identifica el lado de cada uno de los cristales.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es, cuando incide el Sol, inferior a la del vidrio exterior, cuando no incide el Sol la temperatura del vidrio interior es

superior a la del vidrio exterior, por lo que se puede concluir que la colocación del doble vidrio con canal interior aísla más el edificio que si no hubiese canal. Igualmente podemos observar que la temperatura ambiente interior del canal aumenta, cuando incide el sol, por encima de la temperatura interior de los cristales, con lo que se intuye que el canal esta poco ventilado, y con mas ventilación se podría favorecer mas el aislamiento del edificio.

- La temperatura de set point de climatización es siempre de 25°C. Esta temperatura se mantiene constante todas las horas en las que la zona no esta ocupada. En horas de ocupación la temperatura llega a ascender hasta los 30°C, debido a las cargas internas, y se observa que el aumento más importante se da por la tarde, por lo que se cree que es debido a las ganancias solares, ya que es por la tarde cuando incide el Sol.
- Se puede observar que miércoles y jueves a partir de la 13:00 se cerraron las protecciones solares interiores de las que dispone la zona. El viernes restaron abiertas todo el día, igualmente se puede observar que el fin de semana restaron cerradas durante todo el día.
- La intensidad lumínica natural llega a alcanzar los 1.000 lux, miércoles y jueves, a partir de las 15:00 horas cierran las protecciones y únicamente actúa la iluminación artificial, la cual de unos 150 lux, en la ubicación del sensor. Los días no laborables, las protecciones solares permanecen cerradas y dejan entrar un máximo de 80 lux, en las horas de máxima insolación.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo llega en las horas de ocupación que no están cerradas las protecciones solares, a valores superiores a 4, que significa que el valor de iluminación es cuatro veces superior al normativo. Cuando se cierran las protecciones y únicamente se computa la iluminación artificial el índice se mantienen próximos de 0,3 cosa que nos indica que la iluminación artificial es escasa respecto a la normativa. (es posible que en el lugar de trabajo la iluminación artificial sea superior a la leída por el luxómetro.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son próximos a 5, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en disconfort térmico no superarían el 5%, pero cuando incide el sol y calienta la superficie acristalada,

aumenta la Temperatura radiante, lo que hace que un 50 % de las personas entren en discomfort.

- Los valores de PMV nos indican que el discomfort por ciento las personas por la tarde cuando incide el sol es por exceso de calor.

Oficina Ubuntu

La oficina Ubuntu se ocupa por entre 8 a 10 personas en un perfil en días laborales de 9:00 a 18:00h. El clima, juntamente con la ventilación mecánica en ocupación, opera de forma ininterrumpida las 24h, con temperatura de consigna a 25°C. La iluminación tiene el mismo perfil que la ocupación.

Análogamente a la sala diáfana BSC, se presentan los datos de temperatura de contacto del cristal con dos extensiones, la primera extensión (ext o int) que identifica la posición del cristal, la segunda extensión (est o int) identifica el lado de cada uno de los cristales.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura de set point de climatización es siempre de 25°C, esta temperatura se ha mantenido bastante constante durante las 24 horas del día.
- La intensidad lumínica natural es superior a los 1.000 lux, se observa que la iluminación artificial da valores cercanos a los 600 lux, esto se detecta el día 4 y se da de las 18:30 a la 20:00. Se observa que por la noche permanecen unos 35 lux, se estima que esta iluminación nocturna es procedente de la iluminación exterior.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación alrededor superior a 1, lo que nos indica que la iluminación es superior al normativo. Se puede apreciar que alguna luz artificial se queda encendida durante la noche (30 Lux).

- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son inferiores a 10, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 10%.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cerca de 0.5) nos indican que la sensación térmica de los usuarios es de una muy leve sensación de calor.

Características observadas para el edificio El Pla

Oficina Correos

La oficina de correos queda ocupada por entre 1 y 2 personas, en un horario de días laborales de 8:30 a 14:30h. La climatización funciona ininterrumpidamente las 24h con una temperatura de consigna de 23°C. La ventilación mecánica actúa los días laborales de 8:30h a 14:30h, a excepción de los jueves en que también funciona de 16:00 a 17:00h (servicio de limpieza). La iluminación se enciende en los mismos horarios que la ventilación.

Los datos de radiación de la estación meteorológica muestran una bajada a las 13 horas todos los días de la semana. Examinando las fotografías de la instalación de los sensores, se observa como la instalación del sensor de temperatura con su cápsula de protección a la radiación directa puede ser el causante de esta sombra.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es siempre superior a la exterior del vidrio, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción.
- La temperatura de set point de climatización es siempre de 23°C. El aumento en horas de ocupación es debido a cargas internas y radiación solar. La bajada de temperatura por debajo del set point que se produce sobre las 8 de la mañana y a las 18:30 son debidas a ventilación (apertura de ventanas), cosa que queda contrasta con los datos de los cuestionarios.

- Se puede observar que la temperatura en el vidrio es siempre inferior a la temperatura del ambiente interior, este es debido a la orientación norte de esta abertura, la cual hace que no se produzcan ganancias térmicas directas ($T_{we} < T_{wi}$).
- La intensidad lumínica natural media es de 200 lux y se produce entre las 10 y las 17 horas. La iluminación artificial proporciona unos 250 lux adicionales.
- La climatización tiene una consigna de 23°C durante todo el día laborable y de 21°C durante los no laborables. A partir de Los perfiles de temperatura ambiente exterior y ambiente interior, se puede concluir que la masa térmica del edificio no es elevada (ambos perfiles son muy similares). La temperatura interior elevada y su poca oscilación es debida a las ganancias térmicas de otras zonas del edificio, ya que no debería subir la temperatura cuando no hay ni ganancias solares ni internas y la temperatura exterior es muy inferior a la interior.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La intensidad lumínica natural media es de 200 lux y se produce entre las 10 y las 17 horas. La iluminación artificial proporciona unos 250 lux adicionales. El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación entre 0.9-1.0, lo que nos indica que la iluminación es correcta, aún siendo ésta un poco inferior a la normativa.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación (inferior a 20) nos indican que los usuarios que están en disconfort térmico no superan el 20%. Y los valores de PMV en el periodo de ocupación (cerca de cero) nos indican que los usuarios en su mayoría no sienten ni frío ni calor.

Oficina Sur

La oficina Sur queda ocupada por 2 personas, aunque puntualmente llega hasta las 4 personas, en un horario en días laborales de 9:00 a 13:00h y de 16:00 a 20:00h, con la

salida a las 16:00h los jueves. El clima funciona ininterrumpidamente a una temperatura de consigna de 23°C, con ventilación mecánica en los horarios de ocupación. La iluminación funciona de 9:00 a 20:00h en días laborales, y las protecciones solares suelen estar activadas.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura de set point de climatización es siempre de 23°C. El aumento en horas de ocupación es debido a cargas internas y radiación solar. La bajada de temperatura por debajo del set point que se produce sobre las 9:30 de la mañana son debidas a ventilación (apertura de ventanas), cosa que queda contrasta con los datos de los cuestionarios.
- Se producen ganancias térmicas directas ($T_{we} > T_{wi}$) durante el periodo de incidencia de la radiación solar sobre los vidrios y por la noche perdidas ($T_{we} < T_{wi}$). Podemos ver que la conductividad térmica del vidrio es elevada, la diferencia máxima de temperaturas entre el vidrio interior-exterior es de 5°C.
- La intensidad lumínica natural crece de forma pausada hasta los 200 lux a las 10:30 a partir de esta hora incide el Sol directamente sobre la ventana alcanzando un máximo cercano a los 1400 lux desde las 11:00 hasta las 12:30, a partir de ahí disminuye la incidencia hasta alcanzar un valor de 0 lux a las 18:00.
- La climatización tiene una consigna de 23°C durante todo el día laborable y de 21°C durante los no laborables. A partir de Los perfiles de temperatura ambiente exterior y ambiente interior, se puede concluir que la masa térmica del edificio no es elevada (ambos perfiles son muy similares). La temperatura interior elevada y su evolución es debida a las ganancias térmicas por radiación solar, si la temperatura ambiente no es más elevada es debido a que los usuarios abren las ventanas para refrigerar y usan las protecciones solares (cortinas interiores).

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación entre 3-0.5, lo que nos indica que la iluminación es elevada cuando incide el Sol en el cristal y inferior a la normativa cuando no incide.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son muy elevados, alcanzando valores de 100 durante periodos de 2-3 horas, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en disconfort térmico se acerca al 100%.
- Este disconfort es debido a que el cristal llega supera los 40°C cuando incide el Sol y que la temperatura ambiente está sobre los 27°C.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (ceranos a 3) nos indican que los usuarios en disconfort sienten mucho exceso de calor.

Características observadas para el edificio Centre de Serveis CZF

Oficina BR

La oficina de BR es un despacho con una ocupación de 1 persona en horarios de 8:00 a 20:00h en días laborales, con un perfil de clima de 8:00 a 18:00h en los mismos a una temperatura de consigna de 23°C. El perfil de iluminación es el mismo que el de clima.

Es posible observar que las temperaturas de los cerramientos son muy bajas, dado la radiación exterior y la orientación deberían ser mayores. Esto es debido a las protecciones solares exteriores (voladizo y cortina).

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura ambiente del despacho no sigue un patrón como el resto del edificio (la temperatura en periodo de ocupación oscila entre 17.5 y 27.5°C), esto es debido a que se trata de un espacio muy pequeño donde el comportamiento del usuario (abrir/cerrar puertas; abrir/cerrar protecciones

solares interiores; y actuar sobre el termostato de la climatización, que está en la sala diáfana).

- La temperatura de set point de climatización se toma la de la sala diáfana, ya que el termostato está en ella.
- Se puede observar que la temperatura en el vidrio es siempre inferior a la temperatura del ambiente interior, esto es debido a las protecciones solares interiores y exteriores.
- La intensidad lumínica natural media es de 600 lux y se produce entre las 10 y las 17 horas. La iluminación artificial proporciona unos 175 lux adicionales.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación se encuentra entre 0.9-1.0, cuando no incide el Sol, y llega a los 5-6 cuando incide directamente. Cuando únicamente tenemos iluminación natural, el valor de iluminación es un 30% menor al normativo.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación, cuando no incide el Sol, está por encima del 40% y cuando el sol incide disminuye hasta el 10% de insatisfechos, se concluye que por la humedad relativa que tiene la oficina, la temperatura de consigna de climatización es un poco baja, de aquí el 40% de insatisfechos.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cercaos a -1) nos indican que los usuarios en su mayoría sienten un leve frío.

Sala diáfana BR

El número de usuarios de la sala diáfana de BR resulta muy variable, con una ocupación en horario de 8:30 a 18:00h en días laborales. El sistema de clima funciona de 8:00 a 18:00h en los mismos días, a una temperatura de consigna de 23°C. EL mismo horario es el de funcionamiento de la iluminación.

Los datos muestran que la zona tiene una diferencia de temperaturas muy baja (20°C mínima y 25°C de máxima), al ser una zona de gran volumen y climatizada, y disponer de ventanas únicamente a orientación norte.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura de set point de climatización es de 23°C durante los días laborable y en el periodo de ocupación. Podemos observar como la temperatura nunca baja por debajo de los 20°C.
- Observando la gráfica de temperatura interior y exterior, podemos ver como la temperatura ambiente está totalmente determinada por el sistema de clima. Para cualquier temperatura exterior el perfil de temperatura ambiente interior es el mismo.
- La intensidad lumínica natural media es de 400 lux y se produce entre las 10 y las 17 horas. La iluminación artificial proporciona unos 175 lux adicionales. Esta iluminación natural es debida a las aberturas a norte, que permiten una buena penetración de la luz natural y hace que tenga los máximos a las 9.30 y a las 16.30.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación entre 1.0 - 1.5, lo que nos indica que la iluminación satisface las necesidades normativas, incluso es un poco superior a la normativa
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación (inferior a 30) nos indican que los usuarios que están en discomfort térmico no superaría el 30%. Esto es debido en parte a la humedad tan baja en la zona (30%).
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación, cercanos a -1 durante la mañana y a cero durante el mediodía-tarde, nos indican que los usuarios en su mayoría primero siente una leve sensación de frío y después no sienten ni frío ni calor.

Oficinas desocupadas

Los datos de la estación meteorológica muestran una bajada a la radiación y temperatura ambiente durante el fin de semana, en relación al resto de días monitorizados. Se puede observar como durante el fin de semana la temperatura

ambiente interior y las temperaturas de los cerramientos de la zona no suben a los mismos niveles que los otros días, por lo que podemos corroborar que el sistema de clima está apagado.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- El efecto de las protecciones solares sobre esta fachada sur se pueden observar en las gráficas de Intensidad lumínica / Radiación exterior y Temperatura ambiente interior. El Sol sólo entra en la zona durante las primeras horas de la mañana y a partir de las 12 horas deja de hacerlo, por lo que la temperatura interior deja de aumentar mientras que la radiación exterior sigue aumentando.
- A partir de la gráfica de temperatura del vidrio interior / temperatura del vidrio exterior, podemos ver que la diferencia de temperaturas cuando está incidiendo el sol sobre el vidrio es muy pequeña (2 - 3°C) y cuando no incide esta diferencia es mayor (6°C). Esto nos indica que la transmitancia del vidrio es elevada y que proporciona un buen aislamiento.
- Se puede observar que la temperatura en el vidrio, durante las horas de incidencia del Sol, es siempre superior a la temperatura del ambiente interior y al revés cuando no incide el Sol. Lo cual se traduce en ganancias térmicas directas durante la mañana y pérdidas de calor (bajada de temperatura al no haber climatización) a partir de las 13 - 14 horas.
- La intensidad lumínica natural media es muy elevada, el Sol llega a incidir directamente sobre el sensor, hasta las 13 horas y a partir de entonces cae hasta valores medios de 150 lux.

Características observadas para el edificio BP

Oficina N ocupada

La oficina ocupada del edificio BP tiene una ocupación de entre 5 y 6 personas, en horario de días laborales de 8:00 a 17:00h. El clima funciona de 7:50 a 17:00h, junto

con la ventilación mecánica, y a una temperatura de consigna de 22°C. El perfil de iluminación es de 7:50 a 20:30h, considerando horarios de limpieza y seguridad.

Se puede observar en los datos de temperatura e iluminación la orientación de la zona estudiada. Dicha orientación, norte, hace que la radiación incidente sea muy baja así como la temperatura de la zona.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- La estación meteorológica se encuentra en el edificio contiguo al de estudio.
- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0-24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es siempre un poco superior a la exterior del vidrio (cerca 2°C), por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. La absorción del vidrio no es muy elevada, de la observación de los datos de temperatura ambiente interior se deduce que la transmitancia del vidrio es importante. La diferencia de temperaturas interior y exterior ambiente está siempre por encima de los 10°C.
- La temperatura de set point de climatización es siempre de 22°C. El aumento en horas de ocupación por encima de este valor es debido a las cargas internas y en menor medida a la radiación solar (debido a la orientación de los cerramientos vidriados).
- Se puede observar que la temperatura en el vidrio interior siempre es inferior a la temperatura del vidrio exterior, esto es debido a la orientación norte de esta abertura, la cual hace que siempre se este cediendo calor al exterior ($T_{we} < T_{wi}$). La temperatura interior ambiente siempre es superior a la del cristal, por lo que siempre se esta perdiendo calor por la pared exterior acristalada. ($T_{ambi} > T_w$).
- La intensidad lumínica natural crece de forma pausada hasta los 100 lux a las 10:00 a partir de ahí se mantiene más o menos constante hasta las 15:00, desde esta hora hasta las 17:00 va disminuyendo hasta 0 lux. La aportación de

iluminación artificial es de 250 lux, y por perfil de utilización de ésta es desde las 7:50 hasta las 20:30 horas.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación en un alrededor 0.8, y su valor durante el fin de semana es muy bajo (0.2), por lo que podemos concluir que la incidencia del sol es muy baja y que la iluminación es un poco inferior a la normativa.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación son inferiores a 30, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico no superarían nunca el 30%. Cabe destacar que los valores de 30 se dan al inicio de la jornada, debido a la baja velocidad de calentamiento del sistema de clima.
- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cerca de 0) nos indican que la sensación térmica de los usuarios es neutra (ni frío ni calor). Al inicio de la jornada los usuarios pueden tener una leve sensación de frío, por lo que ya hemos comentado en el punto anterior

Oficina W desocupada

Se puede observar en los datos de temperatura e iluminación la orientación de la zona estudiada. Dicha orientación, oeste, hace que la radiación incida a por la tarde y al ser una zona no climatizada hace subir la temperatura de la misma.

Las diferentes conclusiones, obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- La estación meteorológica se encuentra en el edificio contiguo al de estudio.
- La temperatura del vidrio interior es siempre muy próxima a la exterior del vidrio, como máximo hay un diferencia de 2.5°C, por lo que se deduce que la conductividad del vidrio es muy elevada. Viendo en otras gráficas que la temperatura ambiente aumenta con la incidencia del Sol, se puede concluir que la transmitancia del mismo es elevada.
- No existe climatización. La temperatura de la zona esta muy influenciada por las ganancias solares (+10°C), por la noche la temperatura disminuye hasta estabilizarse en los 17,5°C. Resulta interesante observar el cambio de temperaturas de fachadas del domingo y el miércoles a partir de mediodía

debido a una disminución de radiación, que se refleja en los datos meteorológicos.

- Se puede observar que la temperatura en el vidrio no siempre es inferior a la temperatura del ambiente interior, esto es debido a la orientación suroeste de esta abertura, la cual hace que cuando incide el Sol se produzcan ganancias térmicas directas ($T_{we} > T_{wi}$) y por la noche pérdidas ($T_{we} < T_{wi}$).
- La intensidad lumínica es únicamente natural crece de forma pausada del las 8:30 hasta las 12:00 llegando casi a los 2000 lux, a partir de ahí el Sol incide directamente sobre la ventana (el Sol incide directamente sobre el sensor) alcanzando máximos cercanos a los 20000 lux hasta las 16:40, a partir de ahí cae hasta los 400 lux y sobre las 18:00 la intensidad lumínica vuelve a ser nula.
- Como se puede observar en las gráficas anteriores, el local no está climatizado. La única influencia térmica que tiene la zona a estudiar, son ganancias solares y ganancias procedentes de otras zonas climatizadas del mismo edificio. La temperatura de la zona, en la semana de estudio, disminuye hasta los 17.5°C, se entiende que pierde calor por la pared acristalada, y gana calor por los cerramientos interiores, que dan a locales climatizados. Cuando incide el sol a la superficie acristalada, las ganancias solares hacen subir la temperatura interior unos 10 grados (hasta los 27.5°C).

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de teórica ocupación, entre 3-0.5, lo que nos indica que la iluminación es muy elevada cuando incide el Sol en el cristal y inferior a la normativa cuando no incide. Cabe recordar que se trata de una oficina desocupada con las luces apagadas.
- Los valores de PPD durante el periodo comprendido entre las 12 y las 15 es inferior a 20, cosa que nos indicaría que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 20%. En las horas anterior y posteriores el discomfort es muy elevado, alcanzándose casi el 100% durante la mañana y el 50% durante la tarde.
- Los valores de PMV a partir de las 15 horas (cerca de 2) nos indican que los usuarios sentirían un importante discomfort por exceso de calor. En cambio por

la mañana, PMV cercana a -1, la sensación sería de frío. Cabe recordar que la sala no está climatizada.

Características observadas para el edificio Aduanas

Oficina desocupada

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- El sistema de climatización de esta zona está desconectado, ya que el despacho no está ocupado en la actualidad. El aumento en horas de ocupación del edificio es debido a la influencia térmica del resto de zonas climatizadas de éste.
- La intensidad lumínica natural media es de 300 lux y se produce entre las 9 y las 18 horas. Éste es debido a las aberturas a norte y los cerramientos vidriados que dan a la sala diáfana, lo que permite una gran penetración de la luz natural y hace que tenga los máximos a las 9.30 y a las 16.30.
- Las temperaturas interiores se mantienen sin climatización dentro de unos los límites de 25.5°C y 21°C. A partir de Los perfiles de temperatura ambiente exterior y ambiente interior, se puede concluir que la masa térmica del edificio no es elevada (ambos perfiles son muy similares).

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación se encuentra sobre un valor de 0.5, lo que nos indica que la iluminación es deficiente, cabe recordar que se trata de una oficina desocupada en la que la luz artificial no se pone en marcha por lo que este valor de iluminación se debe atribuir únicamente a la luz natural.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación (inferior a 10) nos indican que los usuarios, en caso de haberlos, que estarían en disconfort térmico no superarían el 10%.

- Los valores de PMV en el periodo de ocupación (cerca de cero) nos indican que los usuarios en su mayoría no sentirían ni frío ni calor.

Oficina P0

La oficina tiene una ocupación muy variable con un perfil de 7:30 a 18:00h en días laborales. La climatización funciona en los mismos horarios con una temperatura de consigna de 24°C. La iluminación, por seguridad y personal de limpieza, opera de 7:00 a 20:00h en los mismos días.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es superior a la exterior del vidrio, cuando no incide el Sol, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. En el momento que incide el Sol, la temperatura del vidrio exterior aumenta, con lo que aporta ganancias térmica por conducción. Resulta interesante remarcar el cambio de temperaturas de fachadas del viernes debido a una disminución de radiación que se refleja en los datos meteorológicos.
- La temperatura de set point de climatización es de 24°C, i funciona de 7:30 a 17:00 los días laborables. Los fines de semana la climatización no funciona, la oscilación de temperatura en este periodo va de los 20 a los 25°C.
- La intensidad lumínica natural es superior a los 200 lux. La iluminación artificial proporciona 350 lux adicionales las primera y última horas de ocupación, aun así la iluminación artificial esta encendida desde las 7:30 a las 20:00 horas. La iluminación natural medida es muy baja, para tratarse de un edificio de vidrio, pero esto es debido a la colocación del sensor. Dicho sensor se encontraba en la zona de trabajo de los usuarios y dicha zona está muy alejada de los cerramientos vidriados.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación entre 0.7-0.9, lo que nos indica que la iluminación es correcta, aún siendo ésta un poco inferior a la normativa.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación (promedio inferior a 30) nos indican que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 30% de media, pero hay momentos en que este valor alcanza el 70%. Este pico es debido a las altas temperaturas que alcanza el vidrio interior.
- Y los valores de PMV en el periodo de ocupación (alcanzan valores de 1.8) nos indican que los usuarios en su mayoría sienten calor en las horas centrales del día. Esta sensación será más acusada en aquellos usuarios que estén cerca de la superficie vidriada, y será menor para aquellos que estén más alejados.

Sala diáfana ocupada

La oficina tiene una ocupación muy variable con un perfil de 7:30 a 18:00h en días laborales. La climatización funciona en los mismos horarios con una temperatura de consigna de 24°C. La iluminación, por seguridad y personal de limpieza, opera de 7:00 a 20:00h en los mismos días.

Las diferentes conclusiones obtenidas a partir del análisis de los datos de la monitorización, se resumen a continuación:

- Para los valores medios, se ha de puntualizar que los datos del primer y último día no están completos (0- 24 horas), y esto se refleja en el cálculo de la media diaria. El primer día se empezó a monitorizar a media mañana y el último hasta media mañana, hay monitorizada una semana completa pero no todos los días completos.
- La temperatura del vidrio interior es superior a la exterior del vidrio, cuando no incide el Sol, por lo que está cediendo calor al exterior por conducción. En el momento que incide el Sol, la temperatura del vidrio exterior aumenta, con lo que aporta ganancias térmica por conducción. Resulta interesante observar el cambio de temperaturas de fachadas del día 4 debido a una disminución de radiación que se refleja en los datos meteorológicos.
- La temperatura de set point de climatización es de 24°C, i funciona de 7:30 a 17:00 los días laborables. Los fines de semana la climatización no funciona, la oscilación de temperatura en este periodo va de los 20 a los 25°C.

- La intensidad lumínica natural es superior a los 1.000 lux. La iluminación artificial proporciona 350 lux adicionales las primera y última horas de ocupación, aun así la iluminación artificial está encendida desde las 7:30 a las 20:00 horas.

De los cálculos derivados de los registros obtenidos, se concluye:

- El índice de Lux/Lux normativo está, durante las horas de ocupación entre 0.9-1.9, lo que nos indica que la iluminación es correcta, aún siendo ésta un poco superior a la normativa. En determinados momentos este índice llega hasta 4, lo que indica una entrada directa de la radiación solar.
- Los valores de PPD durante el periodo de ocupación (promedio inferior a 30) nos indican que los usuarios que están en discomfort térmico no superan el 30% de media, pero hay momentos en que este valor supera el 50%. Este pico es debido a las altas temperaturas que alcanza el vidrio interior.
- Y los valores de PMV en el periodo de ocupación (alcanzan valores de 1.6) nos indican que los usuarios en su mayoría sienten calor en las horas centrales del día. Esta sensación será más acusada en aquellos usuarios que estén cerca de la superficie vidriada, y será menor para aquellos que estén más alejados.

ANEXO II.III. RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

En paralelo a la monitorización de espacios de los edificios de referencia, se realiza un conjunto de encuestas orientadas tanto a los usuarios, como al personal de mantenimiento. Tal como se describe en el capítulo correspondiente del documento principal de Tesis, las encuestas a los usuarios pretenden conocer el grado de confort que estos experimentan y, en la medida de lo posible, se llevan a cabo para el máximo de personas por edificio, y considerando ambos sexos (entendiendo que este es un factor determinante en el confort térmico). En todos los casos se trata de muestras pequeñas, tanto por ser un elemento más del análisis cualitativo, como por la disponibilidad de personal de los edificios al que se intenta no distraer en exceso. Por su parte, en el caso del personal de mantenimiento, las encuestas pretenden concluir las formas de operar los edificios, de manera que ayude a la interpretación de los resultados obtenidos de las monitorizaciones.

Aunque en el documento principal se muestran los resultados globales de estas encuestas, a continuación se ofrecen los detalles por edificio.

Edificio Nexus I

| | |
|----------------|-----------------|
| EDIFICIO | NEXUS I |
| FECHA VISITA | 09/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Jordi Carbonell |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|---------------|--|---|--|--|---|--|--|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc..) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ?, ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apagan los equipos al irse a comer ?, ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? |
| 1 | Oficina 110 | Mañana frío, tarde calor. En verano legos ventana frío, cerca ventana calor. | No | Normalmente bien, pero cuanto más cerca del cristal peor | Nada | No apagan todos los PC's, ya que algunos se quedan calculando | Si | Bajan las cortinas cuando le da el sol |
| 2 | Oficina 107 | Al lado de la ventana frío en invierno | No | Normalmente no, esta semana han tenido un equipo de exclimatización estropeado | Nada | Todos los PC's cerrados, solo queda enmarcha el servidor que esta en el suelo técnico | Normalmente si. Esta seman con el aire estropeado algunos días abierta | Bajan las cortinas cuando le da el sol |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 25. Encuestas a los usuarios para edificio Nexus I Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | | |
|---|--|---|
| SISTEMAS | | |
| | Tipo de sistemas | |
| | Características del sistema | |
| | Centralización o no | Si |
| | Tipo distribución (2-4 tubos) | |
| | Descripción equipos distribución | |
| | Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores | si |
| REGULACION | | |
| | Existencia de sistema de gestión | Si |
| | Funcionamiento del sistema de regulación | Automático por demanda / manual |
| | ¿ Quién se encarga de la regulación ? | Ricard |
| | Criterios de regulación estacionales | Verano/ invierno |
| | ¿ Existen espacios climatizados sin uso ? | No.En los sin uso sólo hay ventilación |
| ILUMINACIÓN | | |
| | Distribución y tipos de luminarias | Fluorescentes, Cada 1,80 m |
| | Existencia de seccionización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) | Interruptor zona despachos /programador zonas comunes |
| MANTENIMIENTO | | |
| | ¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? | Empresa externa |
| | ¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? | Si |
| | ¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? | Rápido, según tipo de averia |
| USUARIOS | | |
| | Número de usuarios en el centro | No |
| SERVICIO LIMPIEZA | | |
| | ¿ Existe registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? | No |
| | Si no, horarios de los usuarios | 9-18h (110) 8,30 19/20h (107) |
| | Horarios del servicio de limpieza | 6-12 y de 18-24 Zonas comunes (110) 7-8,30h |
| | Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza | Dentro horarios |
| COMENTARIOS | | |
| | | |

Figura 26. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio Nexus I Fuente: Elaboración propia.

Edificio Nexus II

| | |
|----------------|---------------|
| EDIFICIO | NEXUS II |
| FECHA VISITA | 24/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Jordi pascual |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-------------------------|---|--|--|--|---|---|---|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc.) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ?, ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apagan los equipos al irse a comer ?, ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? |
| 1 | MUJER - PB NW | CALOR SIEMPRE | NORMALMENTE NO | EN ALGUN MOMENTO FRIO, PERO EN GENERAL CALOR | CAMISETA | NO SE APAGA NADA EN TODA LA NOCHE | NORMALMENTE ABIERTAS PARA AIREAR | EN INVIERNO POR LA TARDE |
| 2 | HOMBRE - PB NW | CALOR Y ALGUNA VEZ FRIO POR CORRIENTES | SI UN CALEFACTOR | NO | CALEFACTOR Y PUERTAS ABIERTAS | NO SE APAGA NADA EN TODA LA NOCHE | NORMALMENTE ABIERTAS PARA AIREAR | EN INVIERNO POR LA TARDE |
| 3 | HOMBRE - P1 DIAFANA SUR | CALOR EN INVIERNO | NO | SIEMPRE EN MANGA CORTA TANTO EN INVIERNO COMO EN VERANO | CAMISETA | NO A LA HORA DE COMER PERO SI AL IRSE | PUERTAS CERRADAS | SOLO EN VERANO |
| 4 | HOMBRE - P1 DIAFANA W | CALOR EN INVIERNO SOBRETUDO | NO | EN ENTRETIRMPO CALOR | CAMISETA | SIEMPRE ENCENDICO (NOCHE Y FIN DE SEMANA INCLUIDOS) | PUERTAS CERRADAS | A LAS TARDES LAS BAJAN TANTO EN INVIERNO COMO EN VERANO LA DE FUERA Y LA DE DENTRO |
| 5 | HOMBRE - P1 DIAFANA W | CORRIENTE DE AIRE QUE MOLESTA DE LA CLIMATIZACION. LA GENTE TIENE CALOR PERO ELLA ESTÁ BIEN. POR LA TARDE CALOR | NO | NO N'ÉS CONSCIENT | -- | SIEMPRE ENCENDICO (NOCHE Y FIN DE SEMANA INCLUIDOS) | PUERTAS CERRADAS | A LAS TARDES LAS BAJAN TANTO EN INVIERNO COMO EN VERANO LA DE FUERA Y LA DE DENTRO |
| 6 | HOMBRE - P1 DESPACHO SW | A VECES CALOR O FRIO DEBIDO A LA SECTORIZACIÓN DEL CLIMA | NO | EN ENTRETIEMPO SE NOTA | -- | SIEMPRE ENCENDICO (NOCHE Y FIN DE SEMANA INCLUIDOS) | PUERTAS CERRADAS CUANDO NO ESTÁ Y EL RESTO ABIERA | SIEMPRE CERRADAS (INTERIOR Y EXTERIOR) EN W Y EN SUR (EXCEPTO EN EL MOMENTO DE LA MONITOR) CERRADAS MAÑANA Y ABIERTAS |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 27. Encuestas a los usuarios para edificio Nexus II Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | | |
|---|---|---|
| JEFE MANTENIMIENTO BSC + RESTO DE DATOS VER VISITA EDIFICIOS CZF | | |
| SISTEMAS | Tipo de sistemas | FAN COILS CENTRALIZADOS |
| | Características del sistema | |
| | Centralización o no | |
| | Tipo distribución (2-4 tubos) | |
| | Descripción equipos distribución | |
| | Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores | REGULAN CALOR Y FRIO POR ZONAS AUNQUE NO ESTÁ BIEN SECTORIZADO Y HAY PROBLEMAS ENTRE ZONAS |
| REGULACIÓN | Existencia de sistema de gestión | |
| | Funcionamiento del sistema de regulación | |
| | ¿ Quién se encarga de la regulación ? | PROPIA + CENTRALIZADA |
| | Criterios de regulación estacionales | |
| | ¿ Existen espacios climatizados sin uso ? | UN SOLO DESPACHO EN LA ZONA BSC CLIMATIZADO Y SIN OCUPACIÓN |
| ILUMINACIÓN | Distribución y tipos de luminarias | MASTER 8-40W ILUMINADAS POR LA NOCHE Y CON LUMINARIAS DE DESPACHO PERSONALES EN CADA MESA |
| | Existencia de sectorización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) | SIN SENSORES EN LA ZONA BSC (SI EN OTRAS) PERO SEMISECTORIZACIÓN; DESPACHOS INDIVIDUALES Y ZONA DIAFANA DE GOLPE |
| MANTENIMIENTO | ¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? | TODO EL BSC MENOS AIRE QUE OFRECE EL CZF |
| | ¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? | |
| | ¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? | RÁPIDO |
| USUARIOS | Número de usuarios en el centro | UNAS 30-35 PERSONAS EN BSC |
| SERVICIO LIMPIEZA | ¿ Existo registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? | |
| | Si no, horarios de los usuarios | 2 VECES POR SEMANA, POR EL DIA |
| | Horarios del servicio de limpieza | DIARIO |
| | Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza | NORMAL |
| COMENTARIOS | | PÓCA ILUMINACIÓN INTERIOR Y QUEJAS DE SECTORIZACIÓN DE CLIMA. PARECE QUE EL RETORNO DEL AIRE NO DEBE SER MUY BUENO PUÉS SE QUEJAN DE AMBIENTE CARGADO SIEMPRE |

Figura 28. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio Nexus II Fuente: Elaboración propia.

Edificio El Pla

| | |
|----------------|-----------------|
| EDIFICIO | EL PLA |
| FECHA VISITA | 23/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Jordi Carbonell |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|--|--|---|--|--|---|--|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc.) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ? ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apagan los equipos al irse a comer ? ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? |
| 1 | Despacho ocupado | normalmente bien | No | Normalmente bien | Nada | no se apagan en la noche toda apagado menos el servidor | siempre abierto, ventanas abre 8:30 durante 5 minutos | no tienen protecciones |
| 2 | Oficina de correos | Al lado de la ventana calor tanto en invierno como en verano | No | Calor en despacho ventana tanto en invierno como en verano, pueden abrir venta y puerta exterior | Abren ventanas y puerta exterior | para ir a comer no se apaga nada, cuando se van todo apagado | Si, si no es que hace mucho calor | normalmente cerrada, alguna vez la abren |
| 3 | | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 29. Encuestas a los usuarios para edificio El Pla. Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | | |
|---|---|---|
| | | |
| SISTEMAS | Tipo de sistemas | aire- aire con dos difusores |
| | Características del sistema | conductos de aire |
| | Centralización o no | Si |
| | Tipo distribución (2-4 tubos) | |
| | Descripción equipos distribución | conductos |
| | Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores | un unico termostato en la oficina de correos |
| REGULACIÓN | Existencia de sistema de gestión | termostatos (correos) |
| | Funcionamiento del sistema de regulación | Automático por demanda / manual |
| | ¿ Quién se encarga de la regulación ? | termostatos (correos) |
| | Criterios de regulación estacionales | Verano/ invierno |
| | ¿ Existen espacios climatizados sin uso ? | si, los pasillos estan climatizados |
| ILUMINACIÓN | Distribución y tipos de luminarias | Fluorescentes 4 x 36W con difusor, Cada 2,00 m |
| | Existencia de sectorización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) | Interruptor zona despachos encendidos des de que llegan hasta que se van |
| MANTENIMIENTO | ¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? | Empresa externa |
| | ¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? | Si |
| | ¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? | Rápido, según tipo de avería |
| USUARIOS | Número de usuarios en el centro | correos una persona sola y publico (60 persona entran y salen). Despacho 1 fijos 2 y pueden llegar a ser 4 |
| SERVICIO LIMPIEZA | ¿ Existo registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? | No |
| | Si no, horarios de los usuarios | Correos: 8 a 15h. Sabado y domingo cerrado Agosto cerrado. Despaco 1 sur: 9-13 y de 16-20 (+/-) martes y jueves desde las 2, Sabado y domingo cerrado |
| | Horarios del servicio de limpieza | Correos: jueves por la tarde, 1 o dos horas. Despacho 1 sur : no lo saben decir (porlo que vendrán en horas que no está ocupada la oficina) |
| | Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza | Luz encendida todo el tiempo de ocupación. La climatización funciona tanto si están como si no. Luz no sectorizada para despachos interiores, clima todo encendido. |
| COMENTARIOS | | |

Figura 30. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio El Pla. Fuente: Elaboración propia.

Edificio Centre de Serveis

| | |
|----------------|--------------------------|
| EDIFICIO | ZEPI |
| FECHA VISITA | 17/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Maria, Toni, Dani, Jordi |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|-----------------------------|-----------------------|---|---|--|--|---|--|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc..) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ? ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apagan los equipos al irse a comer ? ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? |
| 1 | Alex - Despacho ocupado a S | NO | NO | SI, pasa calor | Bajo el termostato | NO | 50% | Manualmente y casi siempre bajadas |
| 2 | Oriol Perez - zona diáfana | NO | NO | NO | | SI | En la zona diáfana no hay puertas. | En la zona diáfana no hay ventanas. |
| 3 | José Cortina - zona diáfana | SI | NO | SI | Regulo el termostato | NO | En la zona diáfana no hay puertas. El despacho a Sur correspondiente está vacío y cierran la puerta | Regulan las cortinas del despacho contiguo cuando le da el sol |
| 4 | | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 31. Encuestas a los usuarios para edificio Centre de Serveis. Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | |
|---|---|
| NO SE HA PODIDO RELLENAR | |
| SISTEMAS | <p>Tipo de sistemas _____</p> <p>Características del sistema _____</p> <p>Centralización o no _____</p> <p>Tipo distribución (2-4 tubos) _____</p> <p>Descripción equipos distribución _____</p> <p>Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores _____</p> |
| REGULACIÓN | <p>Existencia de sistema de gestión _____</p> <p>Funcionamiento del sistema de regulación _____</p> <p>¿ Quién se encarga de la regulación ? _____</p> <p>Criterios de regulación estacionales _____</p> <p>¿ Existen espacios climatizados sin uso ? _____</p> |
| ILUMINACIÓN | <p>Distribución y tipos de luminarias _____</p> <p>Existencia de sectorización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) _____</p> |
| MANTENIMIENTO | <p>¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? _____</p> <p>¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? _____</p> <p>¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? _____</p> |
| USUARIOS | <p>Número de usuarios en el centro _____</p> |
| SERVICIO LIMPIEZA | <p>¿ Existo registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? _____</p> <p>Si no, horarios de los usuarios _____</p> <p>Horarios del servicio de limpieza _____</p> <p>Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza _____</p> |
| COMENTARIOS | <p>_____</p> |

Figura 32. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio Centre de Serveis. Fuente: Elaboración propia.

Edificio BP

| | |
|----------------|--------------------------|
| EDIFICIO | BP |
| FECHA VISITA | 17/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Maria, Toni, Dani, Jordi |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|-----------------------|--|---|--|--|--|--|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc.) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ? ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apegan los equipos al irse a comer ? ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? |
| 1 | Toni palés - entrada oficina | NO | Solo en caso de avería de los equipos centralizados | NO | -- | NO | Normalmente | Manualmente |
| 2 | Oscar Falgueras - oficina | NO | NO | NO | -- | NO | Normalmente | Manualmente |
| 3 | Noelia Esteban- oficina | NO | Solo en caso de avería de los equipos centralizados | NO | -- | SI | Normalmente | Manualmente |
| 4 | Josep - despatx | SI | SI | NO | Estufa | NO | SI | Manualmente |
| 5 | Alicia - oficina | A veces | Solo en caso de avería de los equipos centralizados | NO | -- | NO | SI | Manualmente |
| 6 | Sandra | SI | SI | SI | Abrir ventanas o usar un calefactor | NO | SI | Manualmente |
| 7 | | | | | | | | |
| 8 | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | |

Figura 33. Encuestas a los usuarios para edificio BP. Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | |
|---|--|
| SISTEMAS | |
| Tipo de sistemas | caldera + grupo de frío - sistema de 2 tubos |
| Características del sistema | |
| Centralización o no | SI |
| Tipo distribución (2-4 tubos) | 2T |
| Descripción equipos distribución | Fan coils in situ en alfeizar (interior) de ventana + distribución de soporte por difusores en techo (que funcionan aparte con producción centralizada de aire i distribución posterior a espacios - sistema de apoyo) |
| Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores | En el caso de los fan coils de ventana, el termostato está integrado y al alcance de usuarios, (aunque parece que no los usan). Cadzona tiene sus propios fan-coils (a part de la distribución de los de techo que también están en todas las zonas) |
| REGULACION | |
| Existencia de sistema de gestión | NO existe |
| Funcionamiento del sistema de regulación | Termostatos en los propios fan-coils |
| ¿ Quién se encarga de la regulación ? | La gente de mantenimiento regula el sistema de apoyo de techo y (a la práctica) los fan-coils de ventana |
| Criterios de regulación estacionales | Tienen subcontratada una empresa que en primavera (Mayo) y en otoño (Noviembre) vienen a hacer al cambio de producción de frío a calor o a la inversa |
| ¿ Existan espacios climatizados sin uso ? | Algunos distribuidores del sistema de apoyo de techo están abiertos aunque las zonas no estén ocupadas. En el caso de los de ventana, el día de la visita estaban abiertos en la zona desocupada colindante a los despachos ocupados |
| ILUMINACIÓN | |
| Distribución y tipos de luminarias | Agrupación en conjuntos de a 4 de fluorescentes eléctricos de 18W. Aproximadamente, 6 grupos de 4 en 30m2 |
| Existencia de sectorización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) | Luces de ventana y luces de sección por separado. NO sensores de presencia, NO planificación NI sensores luz natural |
| MANTENIMIENTO | |
| ¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? | los operarios del CZF |
| ¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? | SI |
| ¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? | El mismo día (aunque por las encuestas parece que se dan amenudo) |
| USUARIOS | |
| Número de usuarios en el centro | 40 personas (muy desocupado). En la zona de los despachos analizados, aprox. 5-6 personas |
| SERVICIO LIMPIEZA | |
| ¿ Existe registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? | NO, solo hay registro de visitantes |
| Si no, horarios de los usuarios | de 9 a 17h en oficinas y edificio abierto de 7 a 23h. |
| Horarios del servicio de limpieza | Mañana o mediodía (nunca noche) |
| Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza | --- |
| COMENTARIOS | |
| | |

Figura 34. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio BP. Fuente: Elaboración propia.

Edificio Aduanas

| | |
|----------------|--------------------------|
| EDIFICIO | ADUANA |
| FECHA VISITA | 17/02/09 |
| NOMBRE AUDITOR | Maria, Toni, Dani, Jordi |



TOBEE T1-D1.03 ENCUESTA VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| ENCUESTA CONFORT Y COMPORTAMIENTO | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------|---|--|--|---|--|--|---------------------|
| | Nombre y zona | ¿ Pasa frío o calor ? | ¿ En verano o invierno, usa equipos complementarios (calefactores, ventiladores, etc..) ? | En entretiempo, ¿ pasa calor cuando todavía está encendida la calefacción ?, ¿ o frío cuando hay refrigeración ? | ¿ Qué hace en el caso de que la respuesta sea afirmativa ? | ¿ Apagan los equipos al irse a comer ?, ¿ y cuando se van ? | ¿ Suelen permanecer cerradas las puertas ? | ¿ cómo regula las lamas, cortinas u otras protecciones solares móviles ? | |
| 1 | Planta baja | SI y SI | Calefactores | Me aso / me congelo | Ponerme la chaqueta o abrir ventanas | NO al ir a comer, pero SI al irse por la tarde | 50% | No hay cortinas | |
| 2 | despacho planta superior abierto | Depende. No me afecta mucho | NO | SI | Jugar con poner o quitar ropa | SI | No hay puertas | NO utiliza las cortinas | |
| 3 | MUJER - PB DIÁFANA | SI, SI | CALEFACTOR INVIERNO, Y PARA VERANO NADA AUNQUE TIENE CALOR | EN ENTRETIEMPO TAMBIÉN INCLUSO CON CAMBIOS EN UN MISMO DIA | VENIR POR CAPAS | NORMALMENTE NO SE APAGA | NORMALMENTE SI MENOS | CUANDO HACE CALOR LAS ABREN PARA VENTILAR CON EL | NO HAY DISPOSITIVOS |
| 4 | HOMBRE - PB DIÁFANA | FRIO | ALGUN CALEFACTOR EN INVIERNO | EN ENTRETIEMPO FRIO SI EN EL EXTERIOR HACE FRIO | CALEFACTOR O CHAQUETA | NO SE APAGA NADA | NORMALMENTE SI MENOS | CUANDO HACE CALOR LAS ABREN PARA VENTILAR CON EL | NO HAY DISPOSITIVOS |
| 5 | HOMBRE - PB DIÁFANA | FRIO EN INVIERNO | CALEFACTOR INVIERNO | PEQUEÑAS MOLESTIAS EN FUNCIÓN DEL CLIMA EXTERIOR. PERÒ EL PROBLEMA ES EN INVIERNO | TACTICA CEBOLLA | NO SE APAGA NADA | NORMALMENTE SI MENOS | CUANDO HACE CALOR LAS ABREN PARA VENTILAR CON EL | NO HAY DISPOSITIVOS |
| 6 | HOMBRE - P1 PASILLO | MÁS O MENOS | NO | EN ENTRETIEMPO MÁS COMPLICADO POR NO UTILIZAR SISTEMA CEBOLLA. SE NOTA CALOR | TACTICA CEBOLLA, | SI | EN VERANO SE ABREN PARA CIRCULAR EL AIRE | TIENE PERSIANAS PERO NO LAS UTILIZAN | |
| 7 | MUJER - P1 DESPACHO | INVIERNO FRIO Y SOBRE TODO | NADA | MÁS O MENOS | TACTICA CEBOLLA, | SI | NORMALMENTE ABIERTA. A VECES ABRE LA VENTANA | TIENE PERSIANAS PERO NO LAS UTILIZAN | |
| 8 | | | | | | | | | |
| 9 | | | | | | | | | |
| 10 | | | | | | | | | |

Figura 35. Encuestas a los usuarios para edificio Aduanas. Fuente: Elaboración propia.

TOBEE T1-D1.03
CUESTIONARIO VISITAS EDIFICIOS A MONITORIZAR

| CUESTIONARIO SISTEMAS, REGULACIÓN, MANTENIMIENTO, SERVICIOS Y USO | | |
|---|--|--|
| SISTEMAS | | |
| Tipo de sistemas | | 4 UNIDADES VRV EN PARALELO Y DESPUÉS OTRA MÁQUINA QUE REPARTE A LAS DISTINTAS UNIDADES (GAS-AIRE). EQUIVALENTE A 4 TUBOS (FRIO Y CALOR) |
| Características del sistema | | |
| Centralización o no | | SI |
| Tipo distribución (2-4 tubos) | | 4 TUBOS. NO SE PROBÓ NUNCA GESTIONAR FRIO Y CALOR A LA VEZ; O FRIO O CALOR |
| Descripción equipos distribución | | |
| Zonificación de los espacios en función de la presencia de los sensores de clima, los termostatos y difusores | | TERMOSTATOS EN LAS CONDUCCIONES (DE SALIDA DE MÁQUINA); SONDAS EN LOS CONDUCTOS DE SALIDA (NO SE SABE CUANTAS). EN GENERAL COHERENTE LA DISTRIBUCIÓN ESPACIAL CON LA DE CLIMA |
| REGULACIÓN | | |
| Existencia de sistema de gestión | | LAS MÁQUINAS ESTARÍAN PROGRAMADAS PARA SISTEMA DE GESTIÓN, PERÒ ESTE NO EXISTE |
| Funcionamiento del sistema de regulación | | PB MANUAL: CUANDO ALGUIEN TIENE FRIO O CALOR LO COMENTA A UN ENCARGADO QUE DA LA ORDEN AL DE MANTENIMIENTO DESPACHOS DE P1: TIENEN SUS PROPIOS TERMOSTATOS Y LOS REGULAN ELLOS MISMOS |
| ¿ Quién se encarga de la regulación ? | | PB MANUAL: CUANDO ALGUIEN TIENE FRIO O CALOR LO COMENTA A UN ENCARGADO QUE DA LA ORDEN AL DE MANTENIMIENTO DESPACHOS DE P1: TIENEN SUS PROPIOS TERMOSTATOS Y LOS REGULAN ELLOS MISMOS |
| Criterios de regulación estacionales | | EN FUNCIÓN DE INQUILINOS |
| ¿ Existen espacios climatizados sin uso ? | | SOLO LOS DESPACHOS PERO ENTONCES SE APAGAN DEL RESTO |
| ILUMINACIÓN | | |
| Distribución y tipos de luminarias | | FLUORESCENTES CON BALASTRO ELNLECTRONICO DE 55W DE DOS EN DOS; 3 PAQUETES DE DOS POR DESPACHO DE 25-30M2 |
| Existencia de sectorización y de otras medidas eficientes (sensores de presencia, sensores luz natural, etc...) | | MÁS O MENOS SECTORIZADOS; EN DESPACHOS CADA UNO EL SUYO, Y EN ESPACIOS COMUNES VA POR LINEAS. NINGUN TIPO DE SENSORES (NI PRESENCIA NI RADIACION) |
| MANTENIMIENTO | | |
| ¿Mantenimiento por parte del CZF, empresa externa (nombre) o mixto ? | | MANTENIMIENTO EXTERIOR (CONTRATADOS LOS DE CLIMA INDEPENDIENTES DE LA EMPRESA DAIKIN) |
| ¿ Medidas de mantenimiento preventivo ? | | CADA SEIS MESES VIENEN LOS DE CLIMA |
| ¿ Tiempo de respuesta en frente de averías ? | | DEPENDE SI SON LOS DE CLIMA O LOS DE DAIKIN (UNA SEMANA); AL NO TENER PROGRAMA DE GESTIÓN ES DIFÍCIL |
| USUARIOS | | |
| Número de usuarios en el centro | | P1 UNOS 4, PB 10-12 |
| SERVICIO LIMPIEZA | | |
| ¿ Existo registro de la entrada de usuarios y es posible disponer de datos ? | | |
| Si no, horarios de los usuarios | | DE LAS 7:30H A LAS 15:0H-17:00H |
| Horarios del servicio de limpieza | | DE LAS 14:00 A LAS 22:00H |
| Condiciones de funcionamiento de los sistemas energéticos y la iluminación durante el servicio de limpieza | | TODO ENCENDIDO EN EL EDIFICIO DÍA Y NOCHE (NO HAY RELOJ) DURANTE SEMANA Y APAGADO FIN DE SEMANA (?) |
| COMENTARIOS | | |
| | | AUNQUE HAYA SEMIREGULACIÓN EN LA ZONA DIÁFANA, AL NO HABER DIVISIONES, UNAS MÁQUINAS COMPENSAN A OTRAS... |

Figura 36. Encuestas al personal de mantenimiento para edificio Aduanas. Fuente: Elaboración propia

**ANEXO III. MODELIZACIÓN DE LOS CASOS DEL
ESCENARIO BASE**

Más allá de los parámetros físicos que definen los casos de análisis en los distintos escenarios teóricos, explicado en el capítulo de definición de escenarios del documento principal de la Tesis, el análisis en modelización requiere de la definición detallada de las soluciones de fachada contempladas.

De esta forma, se tiene:

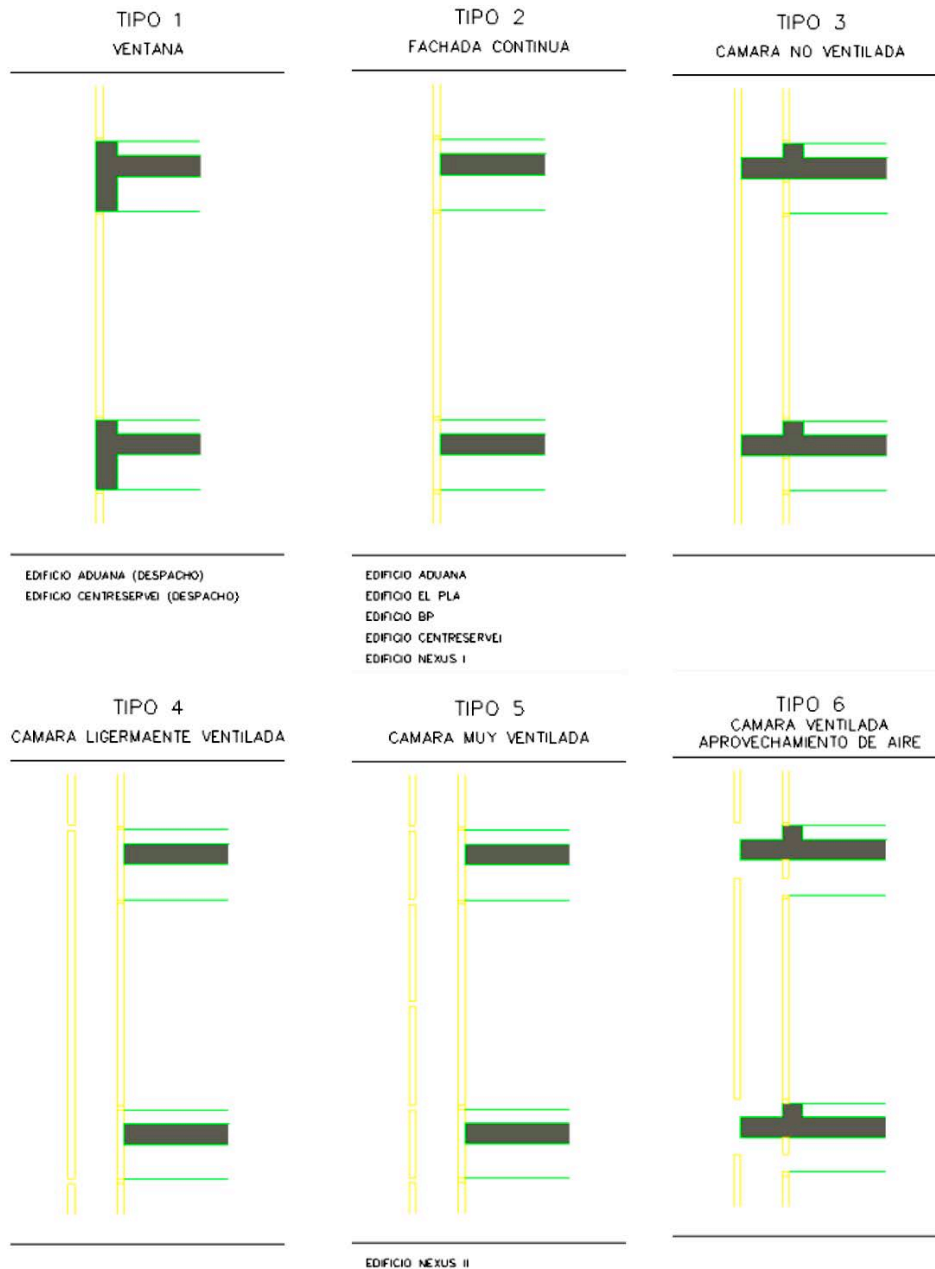


Figura 37. Detalle de los diseños de soluciones de fachadas consideradas en la definición de casos de análisis. Fuente: ALIA y Elaboración propia.

Las mismas se incluyen en formato CAD en la entrega digital.

**ANEXO IV. VALORACIÓN DE LOS COSTES DE
INVERSIÓN DE LAS DISTINTAS SOLUCIONES
CONSTRUCTIVAS**

Parte fundamental del análisis de Tesis es la valoración económica de los distintos casos y escenarios. Esta depende, en gran medida, de los costes de inversión iniciales relativos a la construcción de las distintas soluciones valoradas. En el presente anexo, se detalla el procedimiento que se ha seguido para valorar los costes de inversión de las distintas soluciones.

El objetivo primordial es la elaboración de un presupuesto detallado de cada una de las soluciones. Se trata de un presupuesto dependiente de los parámetros de tipología de fachada, tipología de acristalamiento y de elemento de sombra, ya que el resto de parámetros que conforman los casos de la simulación (las orientaciones) no tienen peso alguno en los costes de inversión. Cabe recordar que el análisis considera un mismo sistema de clima en todos los casos, por no ser foco principal del estudio de Tesis y para no condicionar los resultados de este, y que este no se valora al igual que otras variables como los equipamientos, que no dependen de las soluciones pasivas de análisis. De esta manera, se recurre a la elaboración de una tabla Excel de cada tipología de fachada, por ser ésta la variable principal utilizada durante las simulaciones.

Los presupuestos organizan por partidas relativas a cada elemento constructivo y con la siguiente información:

- Nombre de la partida
- Descripción de la partida
- Unidad de medida
- Relación de elementos pertenecientes a la partida.
 - Unidad
 - Descripción
 - Rendimiento (unidades necesarias para la elaboración de una unidad de la partida)
 - Precio unitario (precio de cada unidad)
 - Precio total
- Precio total de unidad de partida
- Medición
- Precio total del módulo (4,2x5m) de referencia

Dentro de la partida relativa al muro cortina interior, en el apartado de acristalamiento, se introducen una serie de columnas que hacen referencia a los tipos

de acristalamiento analizados, transformándose dicha partida en una tabla de doble entrada de la que se obtienen los precios de cada combinación.

Los elementos de sombra se incluyen como partidas corrientes debido a que conceptualmente son elementos que se añaden o no a la solución de fachada. De esta manera, en los resultados finales de cada fachada, basta con incluir o no el precio de los elementos de sombra, para obtener el resultado buscado.

De esta forma, se genera un resumen parcial de la casuística de cada fachada con los datos relativos al importe del módulo de fachada (4,2mx5m) P.E.M., el precio €/m² fachada P.E.M., el precio €/m² superficie útil en planta P.E.M., el importe del módulo de fachada (4,2mx5m) P.C. (estableciendo que la suma de los costes indirectos y del beneficio industrial suponen un 20%), el precio €/m² fachada, y el precio €/m² superficie útil en planta. A partir de dichas valoraciones se establece una valoración general, con los siguientes datos de cada solución:

- Importe del módulo de fachada (4,2mx5m) P.C.
- Precio €/m² fachada
- Precio €/m² superficie útil en planta

Esta última variable se establece considerando que los consumos económicos derivados del uso de los edificios (consumos de operación), se determinan en base a la unidad de superficie útil, como resultado de la metodología de cálculo de las demandas y consumos energéticos. De esta manera, y con el fin de poder operar, posteriormente, los consumos económicos de operación con los de inversión, se usa la variable común de Precio €/m² superficie útil en planta

De esta manera se obtiene una valoración global para cada uno de los casos del escenario 0. Más allá de las conclusiones que se establecen en el apartado correspondiente de la Tesis, cabe recordar que los costes de inversión resultantes son claramente inferiores en los distintos casos de fachadas ciegas convencionales (de entre 100 y 145€/m² de superficie útil) que en el resto de casos correspondientes de fachadas acristaladas (entre 173 y 976€/m² de superficie útil).

A continuación, y a modo de ejemplo, se muestra todo el proceso de construcción de precios para la solución convencional de fachada F00.

| TIPO 0: CONVENCIONAL | | | | TIPO DE VIDRIO | | | | | | | | | | | | |
|----------------------|--|--|--|----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------|------------|----------|------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| | | | | CLARO | BAJA EMISIVIDAD | REFLECT. LIGERO | REFLECT. FUERTE | TIM | ARGÓN | | | | | | | |
| 1 | Carpintería exterior de aluminio "TECHNAL". | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ud | Carpintería de aluminio, anodizado plata mate, para conformado de ventana abisagrada practicable de apertura hacia el interior, de 250x140 cm, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", formada por dos hojas, con perfilera provista de rotura de puente térmico, y con premarco. | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ud | Descomposición | | | Rend. | p. unitario | Precio | | | | | | | | | | |
| m | Premarco de perfil de aluminio en bruto de 49,8x49,8 mm de sección "TECHNAL". | | | 7,600 | 3,32 € | 25,26 € | | | | | | | | | | |
| m | Perfil de aluminio anodizado plata mate, para conformado de marco de ventana, sistema Saphir FXi, "TECHNAL", incluso junta central de estanqueidad, con el sello EWAA-EURAS, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de anodizado. | | | 7,600 | 19,20 € | 145,92 € | | | | | | | | | | |
| m | Perfil de aluminio anodizado plata mate, para conformado de hoja de ventana, sistema FXi, "TECHNAL", incluso junta de estanqueidad y junta exterior del acristalamiento, con el sello EWAA-EURAS, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de anodizado. | | | 10,100 | 19,68 € | 198,77 € | | | | | | | | | | |
| m | Perfil de aluminio anodizado plata mate, para conformado de junquillo, sistema FXi, "TECHNAL", incluso junta interior del acristalamiento y parte proporcional de grapas, con el sello EWAA-EURAS, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de anodizado. | | | 9,380 | 3,24 € | 30,39 € | | | | | | | | | | |
| m | Perfil de aluminio anodizado plata mate, para conformado de inversora, sistema FXi, "TECHNAL", incluso junta de estanqueidad, con el sello EWAA-EURAS, que garantiza el espesor y la calidad del proceso de anodizado. | | | 1,290 | 20,05 € | 25,87 € | | | | | | | | | | |
| m ² | Acristalamiento doble | | | 3,500 | 25,30 € | 88,54 € | 37,96 € | 132,86 € | 109,30 € | 382,55 € | 85,70 € | 299,95 € | 52,70 € | 184,45 € | 55,46 € | 194,11 € |
| Ud | Cartucho de silicona sintética incolora Elastosil WS-305-N "SIKA" de 310 ml (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho). | | | 0,580 | 3,20 € | 1,86 € | | | | | | | | | | |
| Ud | Material auxiliar para la colocación de vidrios. | | | 1,000 | 1,51 € | 1,51 € | | | | | | | | | | |
| Ud | Cartucho de masilla de silicona neutra para sellado de carpintería exterior. | | | 0,266 | 3,76 € | 1,00 € | | | | | | | | | | |
| Ud | Kit compuesto por escuadras, tapas de condensación y salida de agua, y herrajes de ventana practicable de apertura hacia el interior de dos hojas. | | | 1,000 | 20,46 € | 20,46 € | | | | | | | | | | |
| h | Oficial 1ª cristalero | | | 0,314 | 25,64 € | 8,05 € | | | | | | | | | | |
| h | Ayudante cristalero | | | 0,314 | 23,04 € | 7,23 € | | | | | | | | | | |
| h | Oficial 1ª cerrajero. | | | 5,178 | 26,83 € | 138,94 € | | | | | | | | | | |
| h | Ayudante cerrajero. | | | 5,222 | 23,52 € | 122,82 € | | | | | | | | | | |
| % | Medios auxiliares | | | 2,000 | 816,62 € | 16,33 € | 860,94 € | 17,22 € | 1.110,63 € | 22,21 € | 1.028,03 € | 20,56 € | 912,53 € | 18,25 € | 922,19 € | 18,44 € |
| % | Costes indirectos | | | 3,000 | 832,95 € | 24,99 € | 878,16 € | 26,34 € | 1.132,84 € | 33,99 € | 1.048,59 € | 31,46 € | 930,78 € | 27,92 € | 940,63 € | 28,22 € |
| € | Total partida | | | | | 857,94 € | 904,50 € | 1.166,83 € | 1.080,05 € | 958,70 € | 968,85 € | | | | | |
| Ud | Medición | | | | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | | | | | |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | | | 857,94 € | 904,50 € | 1.166,83 € | 1.080,05 € | 958,70 € | 968,85 € | | | | | |

Figura 38. Primer paso de la valoración económica de la solución convencional de fachada F00: carpintería exterior en base a soluciones de tipo de vidrio.

Fuente: ALIA y Elaboración propia.

En donde, en este primer paso de valora los elementos de la carpintería exterior, añadiendo, en columnas, las distintas soluciones de vidrios de análisis con los respectivos costes unitarios.

En segunda instancia, se consideran otros elementos relativos a la hoja interior y los acabados de fachada, así como los posibles elementos de sombra considerados.

| 2 Hoja interior de fachada, de fábrica para revestir. | | | | |
|--|--|--------|------------|----------|
| m ² | Hoja interior de cerramiento de fachada de 7 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico hueco (tochana), para revestir, 29x14x7 cm, recibida con mortero de cemento M-5. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| Ud | Ladrillo cerámico hueco (tochana), para revestir, 29x14x7 cm, según UNE-EN 771-1. | 24,150 | 0,24 € | 5,80 € |
| m ³ | Mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N tipo M-5, confeccionado en obra con 250 kg/m ³ de cemento y una proporción en volumen 1/6, con resistencia a compresión a 28 días de 5 N/mm ² . | 0,007 | 83,98 € | 0,59 € |
| kg | Acero en barras corrugadas, UNE-EN 10080 B 500 S, elaborado en taller y colocado en obra, diámetros varios. | 0,800 | 1,09 € | 0,87 € |
| h | Oficial 1ª construcción. | 0,358 | 26,39 € | 9,45 € |
| h | Peón ordinario construcción. | 0,179 | 22,07 € | 3,95 € |
| % | Medios auxiliares | 3,000 | 20,65 € | 0,62 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 21,27 € | 0,64 € |
| € | Total partida | | | 21,91 € |
| m ² | Medición | | | 16,00 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 350,63 € |

| 3 Aislamiento por el interior en cerramientos de doble hoja de fábrica cara vista. | | | | |
|---|---|-------|------------|----------|
| m ² | Aislamiento en fachada formado por espuma rígida de poliuretano proyectado de 40 mm de espesor mínimo, 30 kg/m ³ de densidad mínima, colocado por proyección mecánica. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| m ² | Suministro y aplicación de espuma rígida de poliuretano proyectado "in situ", densidad mínima 30 kg/m ³ , espesor medio mínimo 40 mm, aplicado en cámaras de cerramientos verticales, según UNE 92120-2. | 1,050 | 9,61 € | 10,09 € |
| h | Oficial 1ª construcción. | 0,129 | 26,39 € | 3,40 € |
| h | Peón ordinario construcción. | 0,129 | 22,07 € | 2,85 € |
| % | Medios auxiliares | 2,000 | 16,34 € | 0,33 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 16,67 € | 0,50 € |
| € | Total partida | | | 17,17 € |
| m ² | Medición | | | 17,50 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 300,53 € |

| 4 Hoja exterior de fachada, de fábrica de ladrillo cara vista. | | | | |
|---|--|--------|------------|------------|
| m ² | Hoja exterior en cerramiento de fachada, de 14 cm de espesor de fábrica, de ladrillo cerámico cara vista perforado hidrofugado, salmón, acabado liso, 28,5x13,5x5 cm, con junta de 1 cm, rehundida, recibida con mortero de cemento M-7,5. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| Ud | Ladrillo cerámico cara vista perforado hidrofugado, salmón, acabado liso, 28,5x13,5x5 cm, según UNE-EN 771-1. | 61,850 | 0,30 € | 18,56 € |
| m ³ | Mortero de cemento CEM II/B-P 32,5 N tipo M-7,5, confeccionado en obra con 300 kg/m ³ de cemento y una proporción en volumen 1/5, con resistencia a compresión a 28 días de 7,5 N/mm ² . | 0,030 | 91,80 € | 2,75 € |
| kg | Aditivo hidrófugo para impermeabilización de morteros. | 0,181 | 1,24 € | 0,22 € |
| Ud | Repercusión por anclaje al forjado con elementos de acero inoxidable en perfiles angulares de soporte de la hoja exterior, apoyada, de ladrillo cerámico. | 1,000 | 7,20 € | 7,20 € |
| h | Oficial 1ª construcción. | 0,935 | 26,39 € | 24,67 € |
| h | Peón ordinario construcción. | 0,468 | 22,07 € | 10,33 € |
| % | Medios auxiliares | 3,000 | 63,73 € | 1,91 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 65,64 € | 1,97 € |
| € | Total partida | | | 67,61 € |
| m ² | Medición | | | 16,00 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 1.081,81 € |

| 5 Revestimiento de frentes de forjado con piezas cerámicas cara vista. | | | | |
|---|---|--------|------------|---------|
| m ² | Revestimiento de frente de forjado, muros o soportes en cerramiento de fachada, con piqueta cerámica cara vista de elaboración manual, 29x5x3 cm, con mortero de alta adhesión. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| m ³ | Mortero cola flexible de ligantes mixtos, para la colocación en capa gruesa de piezas cerámicas en paramentos verticales exteriores, según UNE-EN 12004. | 0,026 | 96,00 € | 2,50 € |
| kg | Aditivo hidrófugo para impermeabilización de morteros. | 0,150 | 1,24 € | 0,19 € |
| Ud | Piqueta cerámica cara vista de elaboración manual, 29x5x3 cm, 0,30 €/ud. | 56,120 | 0,36 € | 20,20 € |
| h | Oficial 1ª construcción. | 0,741 | 26,39 € | 19,55 € |
| h | Peón ordinario construcción. | 0,370 | 22,07 € | 8,17 € |
| % | Medios auxiliares | 3,000 | 50,60 € | 1,52 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 52,12 € | 1,56 € |
| € | Total partida | | | 53,68 € |
| m ² | Medición | | | 1,50 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 80,52 € |

| 6 Guarnecido y enlucido de yeso. | | | | |
|---|--|-------|------------|----------|
| m ² | Guarnecido de yeso de construcción B1 maestreado, sobre paramento vertical, de más de 3 m de altura, previa colocación de malla antiálcalis en cambios de material, y acabado de enlucido de yeso de aplicación en capa fina C6. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| m ² | Malla de fibra de vidrio tejida, de 5x5 mm de luz, flexible e imputrescible en el tiempo, de 70 g/m ² de peso y 0,40 mm de espesor de hilo, para armar yesos. | 0,105 | 0,91 € | 0,10 € |
| m ³ | Pasta de yeso de construcción B1, según UNE-EN 13279-1. | 0,012 | 94,67 € | 1,14 € |
| m ³ | Pasta de yeso para aplicación en capa fina C6, según UNE-EN 13279-1. | 0,003 | 106,30 € | 0,32 € |
| m | Guardavivos de plástico y metal, estable a la acción de los sulfatos. | 0,215 | 0,42 € | 0,09 € |
| h | Oficial 1ª yesero. | 0,406 | 26,39 € | 10,71 € |
| h | Ayudante yesero. | 0,231 | 23,44 € | 5,41 € |
| % | Medios auxiliares | 2,000 | 17,77 € | 0,36 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 18,13 € | 0,54 € |
| € | Total partida | | | 18,67 € |
| m ² | Medición | | | 16,00 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 298,69 € |

| m² Pintura plástica sobre paramentos interiores | | | | |
|---|--|-------|------------|----------|
| m ² | Pintura plástica con textura lisa, color a elegir, acabado mate, sobre paramentos horizontales y verticales interiores de yeso o escayola, mano de fondo y dos manos de acabado (rendimiento: 0,125 l/m ² cada mano). | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| l | Emulsión acrílica acuosa como fijador de superficies, incoloro, acabado brillante, aplicada con brocha, rodillo o pistola. | 0,180 | 12,05 € | 2,17 € |
| l | Pintura plástica para interior a base de copolímeros acrílicos dispersados en medio acuoso, de gran flexibilidad, resistencia y adherencia, impermeable al agua de lluvia, resistente a los álcalis, color a elegir, acabado mate, aplicada con brocha, rodillo o pistola. | 0,250 | 9,35 € | 2,34 € |
| h | Oficial 1 ^º pintor. | 0,139 | 26,39 € | 3,67 € |
| h | Ayudante pintor. | 0,167 | 23,44 € | 3,91 € |
| % | Medios auxiliares | 2,000 | 12,09 € | 0,24 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 12,33 € | 0,37 € |
| € | Total partida | | | 12,70 € |
| m ² | Medición | | | 16,00 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 203,16 € |
| S1 Celosía de aluminio orientable | | | | |
| m ² | Celosía de aluminio orientable, con lamas lacadas de 120x18mm. Tipo Gradpanel de Gradhermetic incluido cercos, accesorios y montaje | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| m | Celosía de aluminio orientable, con lamas lacadas de 120x18mm. Tipo Gradpanel de Gradhermetic incluido cercos, accesorios y montaje | 1,000 | 148,80 € | 148,80 € |
| h | Oficial 1 ^º cerrajero. | 1,300 | 26,80 € | 34,83 € |
| h | Ayudante cerrajero. | 1,300 | 23,52 € | 30,58 € |
| % | Medios auxiliares | 2,000 | 214,21 € | 4,28 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 218,49 € | 6,55 € |
| € | Total partida | | | 225,04 € |
| m ² | Medición | | | 3,50 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 787,64 € |
| S2 Parasoles horizontales fijos | | | | |
| m ² | Parasol horizontal fijo formado por celosía de aluminio sobre subestructura a base de ménsulas metálicas, con lamas lacadas de 120x18mm. | | | |
| Ud | Descomposición | Rend. | p.unitario | Precio |
| m | Celosía de aluminio, con lamas lacadas de 120x18mm., tipo Luxalon, montada sobre soporte de aluminio. | 1,000 | 66,00 € | 66,00 € |
| ud | Ménsula de acero | 0,950 | 37,92 € | 36,02 € |
| h | Oficial 1 ^º cerrajero. | 1,300 | 26,80 € | 34,83 € |
| h | Ayudante cerrajero. | 1,300 | 23,52 € | 30,58 € |
| % | Medios auxiliares | 2,000 | 167,43 € | 3,35 € |
| % | Costes indirectos | 3,000 | 170,78 € | 5,12 € |
| € | Total partida | | | 175,90 € |
| m ² | Medición | | | 2,17 |
| € | Total partida módulo (4,2m x 5m) | | | 381,71 € |

Figura 39. Segundo paso de la valoración económica de la solución convencional de fachada F00: otros elementos de la hoja interior de fachada y las soluciones, existentes o no, de elementos de sombra.

Fuente: ALIA y Elaboración propia.

De la integración y combinación de estas valoraciones, se obtienen los costes asociados a esta solución, según los indicadores mencionados, y para cada una de las casuísticas de elementos de sombra.

Dada la relevancia de los costes de inversión en la discusión de los resultados de Tesis, y más allá de los cuadros resumen y la discusión en detalle en el capítulo de resultados de costes, se cree relevante aportar la información integral de donde proceden estos valores. Con el fin de facilitar la lectura de los datos, se entrega esta valoración de detalle en formato fichero de hoja de cálculo, en la entrega digital (CD) de la Tesis.