



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA



Escuela Politécnica

M.U.I. en Ingeniería y Arquitectura: Especialidad en Ingeniería Gráfica y Construcción

Trabajo Fin de Máster

Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

SmartPoliTech.

Álvaro Díaz Salazar

Julio 2014



UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA



Escuela Politécnica

M.U.I. en Ingeniería y Arquitectura: Especialidad en Ingeniería Gráfica y Construcción

Trabajo Fin de Máster

Eficiencia Energética en Edificios Públicos.

SmartPoliTech.

Autor: Álvaro Díaz Salazar

Director: Pablo Bustos García

Co-directora: Beatriz Montalbán Pozas

Tribunal Calificador:

Presidente:

Secretario:

Vocal

CALIFICACIÓN:

FECHA:

Resumen

Una nueva tendencia energética se está desarrollando en Europa con el objetivo 20/20/20 con el objetivo de ser más competitivos, mejorar la eficiencia energética de los edificios y liderar una economía sostenible a nivel mundial. En el caso de España, se importa el 75% de la energía que consume, encontrándose la edificación como uno de los sectores que más aportan a la causa debido a un parque edificatorio que es ineficiente, inconfortable y derrochador de energía.

Este problema puede solventarse mediante rehabilitaciones energéticas y usos de energías alternativas, sin embargo el auge de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación se ha introducido en los sistemas de control de edificios y la arquitectura generando los llamados “edificios inteligentes” que proporcionan al usuario del edificio unas infraestructuras y comodidades que les faciliten la realización de sus actividades y el ahorro energético.

Por ello el objetivo de este trabajo, enmarcado en el proyecto SmartPoliTech, fue el análisis del comportamiento térmico del pabellón de Arquitectura Técnica de la Escuela Politécnica de Cáceres, discriminándose si los elementos que lo componen tienen una buena actuación térmica o no, si existen diferencias en el comportamiento de las plantas, si la orientación de las estancias es importante, como es el uso del edificio, así como la obtención de demandas, consumos y emisiones totales.

Para conseguirlo, tras el estudio del funcionamiento del edificio y del proyecto técnico del mismo, se introdujo el edificio en el simulador energético Design Builder para la obtención de resultados. Como resultado se obtuvo un deficiente uso del edificio por parte de los ocupantes, un mal comportamiento general de los elementos constructivos, con puentes térmicos, bajas prestaciones de carpinterías e inadecuados sombreadamientos y ventilación de huecos, consiguiéndose por tanto altas demandas y consumos energéticos y una calificación energética según este método de “E”.

Por último se concluye la ineficiencia energética del edificio que debido a sus bajas prestaciones constructivas y arquitectónicas, así como el desconocimiento de un buen uso por parte de los ocupantes, propician la necesidad de la implantación de estrategias de eficiencia para la disminución de demandas, consumos y emisiones.

INDICE

Capítulo I Introducción.....	1
01. Problemática	2
1.1 La energía en España.....	2
1.2 Emisiones de CO ₂	3
02. Normativa en materia de eficiencia energética	5
2.1 Objetivos	5
2.2 Plan de ahorro y eficiencia energética en España	7
2.3 Plan de eficiencia energética 2011 de la Unión Europea	9
2.4 Directiva 2012/7/UE.....	11
03. Soluciones al problema energético	15
3.1 Aspectos generales	15
3.2 Rehabilitación energética.....	19
3.3 Edificios Inteligentes.....	22
3.4 SmartPoliTech.....	24
04. Revisión de trabajos anteriores y estudio actual.	27
4.1 Trabajos anteriores	27
4.2 Estudio Actual.....	29
Capítulo 02 Metodología	30

01.	Búsqueda de información	31
1.1	Revisión del estado del arte	31
1.2	Trabajos anteriores	32
02.	Trabajo de campo	32
03.	Introducción de datos en simulador	33
3.1	Modelo 3D.....	33
3.2	Actividad.....	36
3.2.1	Ocupación	36
3.2.2	Metabolismo	38
3.2.3	Control ambiental	39
3.2.4	Equipos y ordenadores	40
3.3	Cerramientos.....	40
3.4	Aberturas.....	41
3.5	Iluminación.....	43
3.6	HVAC.....	44
04.	Obtención y procesamiento de resultados	45
Capítulo 03 Resultados y discusión.....		47
01.	Datos del sitio	53
02.	Accesos	60
03.	Aseos	63

04.	Despachos.....	68
05.	Laboratorios.....	76
06.	Salas.....	83
07.	Aulas.....	86
08.	Pasillo Central.....	93
08.	Plantas.....	94
09.	Edificio.....	96
Capítulo 04 Conclusiones.....		99
01.	Conclusiones.....	100
1.1	Uso de la escuela.....	100
1.2	Análisis del comportamiento térmico del edificio.....	100
1.3	Demanda, consumos y emisiones.....	103
1.4	Futuras líneas de investigación.....	104
Capítulo 05 Referencias bibliográficas.....		108

01 Introducción

01. Problemática

El dominio de la naturaleza ha traído consigo numerosos problemas como la escasa implantación de la capacidad energética en la población humana. Aun hoy en día una tercera parte de la humanidad (2.000 millones aprox.) no tiene acceso a las formas modernas de energía, como la electricidad y la gasolina. Un tercio de la humanidad consume un 90% de la energía.

Otro de los problemas, es el impacto ambiental causado en la naturaleza. Hoy nos preocupa un ligero cambio en las temperaturas del planeta (1° a 5°), de seguro reversible con el paso del tiempo, pero, según indican los expertos, mientras dure, muy dañino para el frágil equilibrio de la sociedad humana y de muchos ecosistemas.

Hoy nos preocupa también el vertido de sustancias tóxicas en las corrientes de aire y de agua, algunas de estas sustancias son muy persistentes y dañinas en cantidades minúsculas. Los Compuestos Orgánicos Persistentes COPs (furanos, dioxinas, etc.) son perjudiciales en partes por millón de millón, pues se acumulan en la cadena trófica.

La contaminación del medio ambiente no es un problema nuevo, pero sí de magnitud cada vez mayor. La producción de energía está actualmente basada en los combustibles fósiles, disponibles en cantidad tan limitada que el petróleo, el gas natural y el uranio no serán abundantes nunca más en unas décadas al ritmo de consumo actual [1].

Estudios que realizan las agencias internacionales de la energía apuntan a aumentos del consumo mundial de energía, en lugar de a disminuciones. Algunos modelos basados en escenarios moderados apuntan a crecimientos del 50% en 10 a 15 años [2].

1.1 La energía en España

En España no sólo el crecimiento del consumo energético es de los mayores de Europa, sino que la intensidad energética crece continuamente en contraste con la tendencia europea que prevé descensos del 1% anual.

España importa actualmente un 75% de la energía que consume, cifra que podría evolucionar hacia el 90%, mientras que Europa importa un 50%, cifra considerada elevada, pudiendo evolucionar hacia el 70% en 2030 [3].

Los aumentos en el consumo energético de nuestro país (duplicado entre 1975 y 2000) son atribuibles en los años recientes (1993-actualidad) primordialmente al sector del transporte individual y residencial, muy ligados a aspectos de calidad de vida, con pequeña repercusión en el PIB [4]

Por otro lado existe una creciente demanda española de gas. Durante los últimos 10 años, el consumo español de gas natural ha aumentado a un ritmo del 15% en términos medios anuales. Desde 1993, el consumo de gas en España ha crecido casi un 275% y ahora constituye más del 16% de la mezcla de energía utilizada (más que cualquier otra energía tradicional, salvo el petróleo, que representa el 53%). Hoy en día, el petróleo y el gas juntos representan el 70% de la mezcla de energía primaria consumida por España (frente al 62% en 1990), un nivel mucho más alto que el promedio europeo (64%) y un indicador de que España es incluso más dependiente de los principales hidrocarburos que los demás países avanzados (65% en EEUU, 64% en la OCDE y 61% en el mundo).

En 2004, España consumió energía primaria –incluyendo petróleo y sus derivados (53%), gas natural (16,9%), carbón (14,5%), energía nuclear (9,8%) e hidroeléctrica (5,4%)– equivalente a casi 3,0 millones de barriles diarios de petróleo, levemente por debajo del 1,5% del total consumido en el mundo (más de 205 millones de barriles diarios *equivalentes* de petróleo) [5].

Los datos y argumentos que se describen en numerosos informes convierten a la mejora de la eficiencia energética en una de las más urgentes prioridades de nuestro modelo energético [6].

1.2 Emisiones de CO₂

De acuerdo a las emisiones directas de CO₂ que realiza cada agente económico en su actividad, el sector energético en su conjunto emite el 32,7% del total de las emisiones de CO₂ de la economía española. Entre estos sectores, el que mayor cantidad de emisiones directas genera es Producción y distribución de energía eléctrica, que representa el 23,6% de las emisiones totales de CO₂ de España, aunque también habría que destacar la actividad contaminante de Coquerías, refino y combustibles nucleares, que emite el 5,75% de las emisiones totales de España. En cuanto a los Hogares, emiten el 22,3% de las emisiones totales de CO₂. Por el contrario, entre las actividades que realizan menores emisiones directas de CO₂, se encuentran principalmente las actividades de energías renovables: Energía eólica, Hidráulica, Solar y Biocarburante [7].

Tabla 1: Emisiones directas por sector en España

	Emisiones Directas (Tn)		Emisiones Indirectas (%)	
	CO ₂	CO ₂ EQ	CO ₂	CO ₂ EQ
Extracción de crudos de petróleo y gas natural. Extracción de uranio y torio	927.509	936.228	0,28	0,24
Coquerías, refinó y combustibles nucleares	19.247.000	19.523.483	5,75	4,92
Producción y distribución de energía eléctrica (no renovable)	79.055.645	79.698.516	23,61	20,10
Producción y distribución de gas	10.324.383	10.810.081	3,08	2,73
Energía eólica	0	0	0,00	0,00
Hidráulica	0	0	0,00	0,00
Solar	0	0	0,00	0,00
Biomasa/RSU/Geotermia /Biogas	471	471	0,00	0,00
Biocarburante	0	0	0,00	0,00
Resto de Sectores Productivos	150.201.992	206.614.069	44,85	52,11
Sector Privado	74.558.00	78.295.622	22,26	19,75
Sector Público	574.000	580.942	0,17	0,15
TOTAL	334.889.000	396.459.412	100	100

Fuente: [7].

02. Normativa en materia de eficiencia energética

2.1 Objetivos

Los objetivos y las actuaciones en materia de eficiencia energética en España se enmarcan dentro de los objetivos y avances normativos fijados por las instituciones comunitarias. Así, junto a los objetivos de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero y de participación de energías renovables aprobados en el Consejo Europeo de primavera de 2007, se incluyó un objetivo que consiste en la mejora de la eficiencia energética en un 20% en 2020 en la UE frente al escenario tendencial (este bloque de objetivos se denomina comúnmente “objetivos 20/20/20”). A diferencia de los objetivos del 20% de energías renovables y de reducción del 20% de las emisiones de CO₂, el objetivo de eficiencia no tiene carácter vinculante ni se ha distribuido por Estados miembros.

En línea con el objetivo europeo, en el Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020, se contemplan una serie de actuaciones dirigidas a reducir los consumos y los costes energéticos en todos los sectores económicos por medio de acciones de eficiencia energética, con el propósito de hacer frente a los objetivos establecidos por Europa del 20%. Este Plan considera un objetivo de consumo de energía primaria de 142.213 ktep para el año 2020, que se puede lograr con un incremento interanual de eficiencia energética de un 0,8% desde el año 2010 y una reducción del 1,5% de la intensidad energética primaria entre estos dos años.

Por otra parte, en el Programa Nacional de Reformas 2013 se resalta cómo la intensidad energética ha ido reduciéndose en los últimos años, lo cual equivale a una mejora de la eficiencia energética debido a que estos indicativos son inversamente proporcionales, con tasas anuales cercanas al 3% y un acumulado desde 2005 del 18,5%, lo que nos indica una mejora sustancial en el sector de la eficiencia energética.

Tabla 2: Medidas de eficiencia energética españolas en edificación

Sector	Medidas
	Alta calificación energética. Código Técnico de la Edificación (RD 314/2006 de 17/03/2006)
Edificación	Certificación energética de edificios (RD 47/2007) actualizada en el RD 235/213
	Nuevo RITE (RD 1027/2007), de 20/07/2007

Fuente: Adaptación [8].

En la Tabla 1 se resume de una manera concisa las disposiciones normativas que dentro de los mecanismos de actuación apoyarán los objetivos buscados en el Plan de Acción y Eficiencia Energética 2011-2020.

Una medida de especial relevancia, aunque hubiera tenido una mayor de haberse aprobado unos años antes, dado el elevado peso del sector de la construcción en España durante muchos años que ha desarrollado un gran parque inmobiliario, es el Código Técnico de la Edificación (CTE), aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Éste establece unos requisitos mínimos de eficiencia energética en los edificios nuevos y los edificios existentes que sean objeto de reformas importantes para lo que fija la necesidad establecer una metodología de cálculo común para obtener la certificación energética de edificios que acredite que en el diseño y la construcción se han seguido criterios para lograr el máximo aprovechamiento de energía. Actualmente está vigente el Real Decreto 235/2013 del 5 de abril, donde se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, obligatorio en caso de compraventa o arrendamiento de inmuebles desde el 1 de Julio de 2013.

Este real decreto sigue las exigencias de la Directiva 2010/31/UE, y establece la obligación de poner este certificado en manos de los compradores o usuarios del inmueble. Este certificado debe contener: la calificación en términos de sostenibilidad (calificación con una letra, A-G), información objetiva sobre las características energéticas del inmueble y un estudio de las mejoras potenciales en términos

de eficiencia en el edificio. El Real Decreto 235/2013 favorece la promoción de edificios de alta eficiencia energética y las inversiones en ahorro, ya que se da pie a poder valorar y diferenciar los edificios en función de lo eficientes energéticamente que sean [8].

2.2 Plan de ahorro y eficiencia energética en España

El Plan de Ahorro y Eficiencia Energética (PAEE) 2011-2020 da continuidad a los planes de ahorro y eficiencia energética que han sido aprobados con anterioridad por el Gobierno Español dentro del marco de la Estrategia Española de Eficiencia Energética. Este plan presenta un conjunto de acciones y medidas a acometer con varios objetivos, entre ellos el de lograr mejorar la intensidad energética final en un 2% en el periodo 2011-2020.

También presenta un objetivo acerca del consumo energético, el cual asciende a 142.231 ktep de energía primaria en 2020, lo que supone un incremento del 0,8% interanual desde el año 2010 y una mejora de la intensidad primaria del 1,5% entre los dos años.

Este plan profundiza en uno de sus capítulos en las estrategias que hacen posible la consecución de los objetivos, presentando los mecanismos de cooperación entre administraciones que han sido puestos en marcha con este fin. Se distinguen 3 tipos: (i) mecanismos de tipo regulatorio, (ii) mecanismos desarrollados por el Ministerio para el seguimiento de los planes de acción y (iii) los mecanismos de cooperación con las Comunidades Autónomas para la ejecución de las medidas, donde la mayor proximidad de sus administraciones a los sectores difusos ayuda a elevar su eficacia.

También se presenta en otro de sus capítulos un análisis de beneficios globales de este plan, asociándolos al ahorro de energía primaria y al ahorro de emisiones de gases de efecto invernadero. Además, se identifican en el capítulo quinto los orígenes y los mecanismos de donde partirán los recursos económicos que se requieren para activar la participación por parte del sector privado para la consecución de los objetivos de este plan.

Por último, para cerrar la primera parte de este plan se valora también en otro capítulo el análisis de los impactos socioeconómicos como consecuencia de las acciones que en él contiene, en términos de empleo y PIB (Producto Interior Bruto).

La segunda parte del Plan está enfocada en el estudio de la situación actual de cada sector en referencia a la eficiencia energética, y la identificación del potencial de mejora de cada sector. Se proponen, por tanto, las acciones que deberían ser acometidas para conseguir llegar al objetivo marcado dentro de las posibilidades de cada uno de los sectores.

Tabla 3: Principales actuaciones del Plan de Acción 2011-2020.

Sector	Medidas
Edificación	Rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios existentes.
	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas de los edificios existentes.
	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de iluminación interior de los edificios existentes.
	Construcción de nuevos edificios y rehabilitación integral de los existentes con alta calificación energética.
	Construcción de rehabilitación de edificios de consumo de energía casi nulo.
	Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones de frío comercial.
	Mejora de la eficiencia energética del parque de electrodomésticos.
	Revisión de las exigencias energéticas en la normativa edificatoria.

Fuente: Adaptación [8].

En la Tabla 2 se muestran los ahorros propuestos por este plan en el sector de la edificación. Estas medidas en cuanto a la energía primaria y final, son coherentes con las obligaciones propuestas por el Consejo Europeo desde la reunión del 17 de junio de 2010, en relación con la mejora del 20% en términos de eficiencia energética [8].

2.3 Plan de eficiencia energética 2011 de la Unión Europea

La eficiencia energética es uno de los retos más importantes dentro de la Unión Europea. Tanto es así, que en el objetivo vigente para 2020 en la UE donde se exige reducir un 20% de la energía primaria consumida, la eficiencia energética juega un papel fundamental, pretendiendo que sea una herramienta importante para conseguir frenar el gasto de energía y el cambio climático. Hoy en día se puede decir que es una de las mejores armas de las que dispone la UE para acometer estos objetivos del 2020.

El Plan de Eficiencia Energética 2011 de la Unión Europea está muy dirigido a fomentar el ahorro de energía por medio de la aplicación de soluciones eficientes. Uno de los sectores con mayor potencial es el doméstico, donde los edificios consumen mucha energía desperdiciada. Uno de los objetivos es presentar las herramientas necesarias para activar su desarrollo con el fin de que comience un proceso de regeneración de los edificios públicos y privados. Es muy importante que el sector público se involucre en el proceso ya que funcionaría como ejemplo para el resto de las personas e instituciones.

El sector público representa el 17% del PIB de la UE y sus edificios son el 12% de los existentes en el parque inmobiliario europeo. Por tanto, es esencial que este plan dirija parte de sus esfuerzos a fomentar la aplicación de soluciones de eficiencia energética en este sector por lo que se propone una incentivación por parte de los gobiernos de los Estados miembros para que se activen las medidas y se apliquen soluciones basadas en la eficiencia energética.

Además, según este plan, los organismos públicos deberán elevar el grado de eficiencia energética que dispongan sus edificios. Se deberá actualizar la renovación de sus instalaciones cada cierto tiempo y estarán obligados a renovar al menos el 3% de sus edificios cada año. Estas renovaciones deberían colocar el parque inmobiliario perteneciente al estado en el 10% de los edificios con mayor grado de eficiencia energética de cada país.

Siguiendo con este objetivo, el contrato de rendimiento energético podría ayudar a facilitar el desarrollo y modernización de los edificios actuales. Este plan ya está asentado en varios países de la UE, ayuda a financiar el coste inicial de un proyecto de mejora de la eficiencia por medio de los ahorros en la factura, los cuales servirán para hacer frente al desembolso inicial.

Además de los edificios, el sector público debe hacer frente a la renovación de sus instalaciones a pie de calle. Multitud de ayuntamientos o diputaciones ya se han aplicado a la normativa, y se ha demostrado que los beneficios son mayores de los esperados, donde la modernización de la vía urbana y de la movilidad de la misma mejoran, además de producir nuevos puestos de trabajo.

Por otra parte, el sector edificación consume el 40% del total de energía final de la UE. Dentro de este sector, más del 60% de este consumo tiene su origen en el uso de las calderas. Dadas estas cifras, se hace significativo el hecho de reducir parte del consumo de este sector, ya que con la aplicación de la tecnología conocida se podría llegar a reducir el 75% del consumo de un hogar medio. Por tanto, este plan insta a los gobiernos a promover medidas con el fin de que esta actividad comience a activarse. Este reto debe acometerse de varias maneras, entre ellas se debe hacer frente a las barreras jurídicas que se encuentran los ciudadanos a la hora de intentar acometer las renovaciones, se debe promover el papel de las ESEs para llegar al cliente final y se debe hacer frente a la desinformación de la población.

Respecto al sector energético, protagonizado por la transformación de la energía en electricidad, se deben construir nuevas instalaciones con mayor índice de eficiencia ya que se calcula que el 30% del consumo de energía primaria en la UE corresponde a este sector. La renovación de instalaciones que van quedando obsoletas es una de las medidas a realizar, siempre teniendo en cuenta la posibilidad de incorporar soluciones de eficiencia energética. Ciertas directivas internacionales contribuyen a este objetivo limitando la cantidad de emisiones industriales posibles. En este sector, aún se debe mejorar sustancialmente ya que tiene un alto potencial de mejora. Uno de los objetivos es poder utilizar todo el calor de los procesos de producción de electricidad e industrial como recurso térmico.

A su vez, el uso de los mecanismos de mercado para el ahorro de energía, la mejora de la competitividad de la industria manufacturera europea y la investigación de nuevas tecnologías son otros objetivos que busca activar este plan dentro del sector industrial como tal.

Sin embargo, ciertas barreras de mercado impiden o desincentivan la inversión en proyectos para la mejora de la eficiencia energética. Por ello los gobiernos de los países de la UE deberán corregir esta problemática a través de imposición de objetivos de ahorro, y de medidas financieras que apoyen el proceso de aplicación de proyectos de mejora de la eficiencia. Para ello, se proponen ciertos planes o programas de ayuda a nivel europeo, los cuales pueden enfrentar el problema de varias maneras, incluyendo la financiera.

El control y monitorización del consumo puede jugar también un papel importante a la hora de conseguir los objetivos. Las herramientas que aportan este tipo de servicios conciencian a los clientes finales, los cuales acostumbran a desinteresarse por estos datos, siendo un 53% de ellos los que dicen desconocer su gasto energético. Por ello, la comisión examinará el comportamiento de estos clientes con el propósito de implementar una estrategia para el desarrollo de mecanismos de ahorro de energía, a través de la información recibida, junto con la consulta a las organizaciones de consumidores. El uso de determinadas estrategias como la de clasificar los edificios con una nota en función de su calidad de la eficiencia energética, provoca una conducta en los consumidores de

favorecimiento de estas instalaciones, lo cual genera la obligación de que la competencia necesite obtener esa misma calificación para no ofrecer un servicio más pobre.

En cuanto al sector del transporte, es vital para el ahorro de energía en toda la Unión Europea ya que supone el 32% del consumo de energía final. Principalmente depende del combustible fósil, pero la introducción del vehículo eléctrico puede aportar un gran avance en la sostenibilidad del sector. En referencia a la eficiencia energética, un vehículo eléctrico posee un valor mucho mayor que un vehículo con motor de combustión, además de aportar una ayuda al ahorro de las emisiones de CO₂.

Por último, este plan promueve la creación de un marco regulatorio fiable donde poder albergar las medidas de cara a desarrollar las acciones que permitan mejorar en el aspecto de eficiencia, y que este marco sea consensuado por los países de la UE. Además, el lanzamiento del primer Semestre Europeo, en el marco de la Estrategia Europa 2020, otorga a la Comisión potencial para seguir y analizar los progresos anuales de los Estados miembros [8].

2.4 Directiva 2012/7/UE

El 25 de octubre de 2012 se publicó en el Diario Oficial de la Unión Europea (DOUE) la Directiva de eficiencia energética 2012/27/UE que deroga las directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE y modifica las directivas 2009/125/CE y 2010/30/EU.

La negociación europea para aprobar esta Directiva fue muy compleja por la divergencia de posiciones entre Estados miembros y las fuertes presiones recibidas desde distintos sectores de la economía. De ahí, que para alcanzar un acuerdo se optara por una redacción generalista y un enfoque abierto en el que gran parte de las medidas incluidas ofrecen diversas alternativas a la hora de la trasposición.

La Directiva de eficiencia energética plantea una serie de objetivos globales y, a nivel sectorial, unos instrumentos regulatorios y propuestas de financiación, así como un marco conceptual de seguimiento y supervisión.

Objetivos de ahorro y eficiencia energética. La Directiva no establece objetivos de ahorro energético o mejora de la eficiencia energética por Estado miembro. Se fija como objetivo global alcanzar un ahorro del 20% del consumo de energía primaria en la UE en 2020 sobre la proyección que existía para ese año realizada en 2007, lo que supone que el consumo de energía primaria en la UE no deberá superar en 2020 los 1.474 Mtep (1.078 Mtep de energía final).

Partiendo de este objetivo global establecido para la UE, el documento establece que cada Estado miembro fijará un objetivo de eficiencia energética orientativo basado en el consumo de energía (primaria o final) o bien en la intensidad energética.

El artículo 7 impone a los Estados la obligación de desarrollar un sistema de obligaciones de eficiencia energética a suministradores de energía, marcándoles un objetivo de ahorro anual (para el periodo contemplado entre 2014-2020) equivalente al 1,5% de las ventas anuales de energía de todos los distribuidores o empresas minoristas de energía, en volumen, como promedio de los tres últimos años previos al 1 de enero de 2013. Algunas cuestiones sobre este objetivo:

- Los sujetos obligados a cumplir este objetivo podrían ser distribuidores o comercializadores o ambos.
- No se concreta sobre los sectores energéticos que serán utilizados como base para el cálculo del objetivo, ofreciéndose la posibilidad de excluir el sector transporte.
- El objetivo supone un ahorro nuevo cada año, equivalente al 1,5% de las ventas de los tres años previos al 1 de enero de 2013.

Aunque la Directiva ofrece elementos de flexibilidad para facilitar el cumplimiento de los objetivos, esta flexibilidad está limitada al 25% del objetivo. Es decir, el importe de ahorros conseguidos con estos instrumentos de flexibilidad no podrá ser superior al 25% del objetivo establecido.

Algunos de los principales elementos de flexibilidad se enumeran a continuación:

- Flexibilidad en la senda de objetivos: 1% (2014 y 2015); 1,25% (2016); 1,5% (2018, 2019, 2020).
- Exclusión de ventas a sectores sometidos al Sistema Europeo de Comercio de Derechos de Emisión.
- Posibilidad de contabilizar ahorros provenientes de medidas puestas en marcha desde enero de 2009 (con efecto en 2020).
- Contabilización de ahorros de energía por cogeneración, tarifas, smart meters, etc.

En principio, la propuesta europea enumera pero no obliga a incluir una serie de elementos que, sin embargo, son comúnmente utilizados en los países que tienen este tipo de marcos (a excepción del último). Estos elementos serían:

- Banking/borrowing de ahorros (durante 3 ó 4 años).
- Introducción de una obligación de actuaciones sobre hogares bajo “pobreza energética”.
- Incorporación del sector transporte. Se deja abierta la posibilidad a que la energía suministrada en el sector transporte también esté sujeta a estos objetivos.

Además la Directiva otorga al estado miembro la libertad para no instaurar un sistema de obligaciones sobre suministradores si consigue un ahorro equivalente con medidas regulatorias o de política energética y fiscal como las siguientes:

- Impuestos sobre energía o CO₂.
- Incentivos fiscales o financieros.
- Acuerdos voluntarios.
- Estándares y normas (que no sean obligatorios previamente).
- Etiquetado.
- Medidas de educación y sensibilización.

A las alternativas enumeradas en el punto anterior se une la posibilidad de creación del llamado Fondo Nacional de Eficiencia Energética que permite al Estado miembro cumplir con un ahorro equivalente al objetivo del 1,5% que tendría un sistema de obligaciones sobre suministradores, simplemente creando un fondo al que contribuirían económicamente las partes obligadas.

En definitiva, si bien la Directiva define para los Estados miembros obligaciones de eficiencia energética a nivel de suministrador, el sistema de obligaciones de eficiencia energética puede ser sustituido parcial o totalmente por un marco regulatorio que implique ahorros equivalentes o por un Fondo al que contribuyan los agentes sujetos a objetivos.

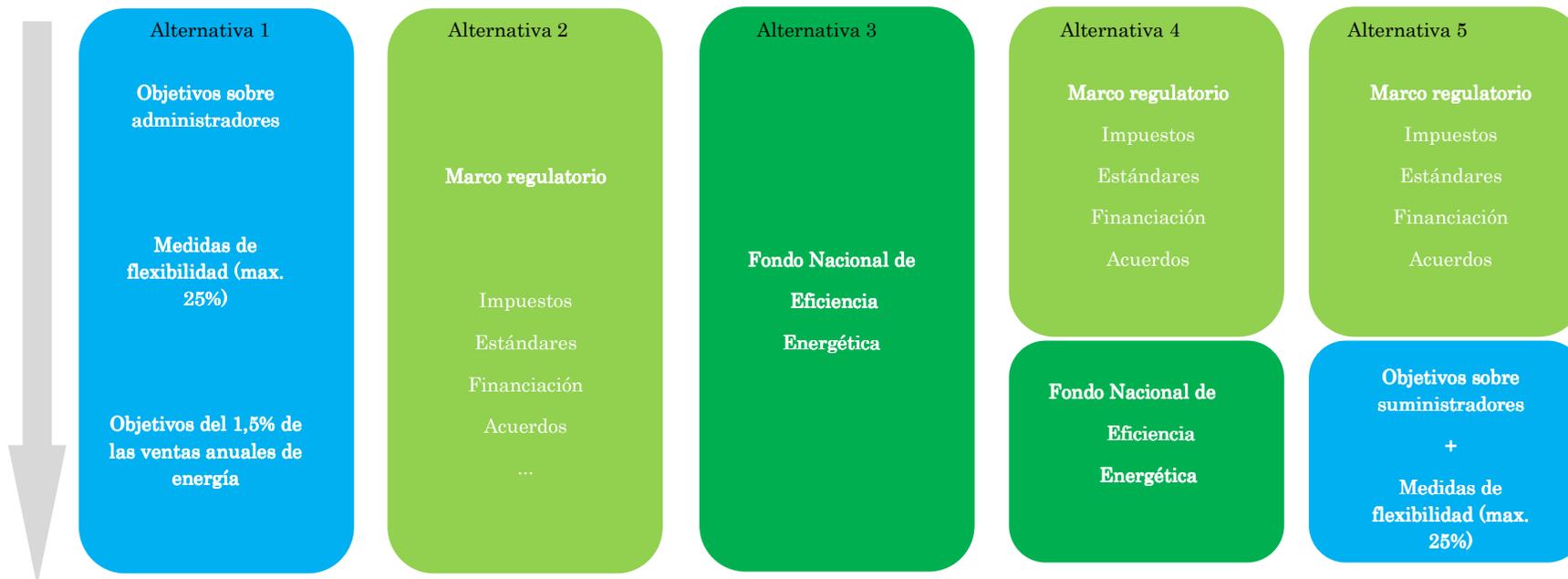


Figura 1: Posibles marcos regulatorios de eficiencia energética. Fuente: Adaptación [8].

Papel del sector público. El sector público es una de las prioridades de ahorro para la Directiva. Por ello, fija como objetivo explícito de ahorro para el sector público de cada Estado la obligación de reformar cada año el 3% de la superficie de los edificios de la Administración central para incrementar su eficiencia energética:

La obligación se establece sobre edificios mayores de 500 m²;

Se eximen del cumplimiento de este objetivo los edificios con valor histórico o en entornos ambientales; defensa nacional, religiosos, etc.).

Al igual que ocurre con los objetivos sobre suministradores, la Administración también podría cumplir éste objetivo realizando aportaciones económicas a un Fondo de eficiencia energética.

Planes Nacionales de Acción de Eficiencia Energética. A más tardar el 30 de abril de 2014, los Estados miembros deberán presentar a la Comisión Europea un Plan de Acción de eficiencia energética en el que se detallarán objetivos nacionales de eficiencia energética y medidas encaminadas a su cumplimiento.

Otras Medidas. En la Tabla 3 se representan otras medidas recogidas en la Directiva de Eficiencia Energética [8].

Tabla 4: Otras medidas de la Directiva de Eficiencia Energética.

Medida	Descripción
Auditorías Energéticas	Obligaciones para grandes empresas (cada 4 años). Apoyos para las pequeñas.
Eficiencia en usos térmicos: calor y frío	Evaluación del potencial y análisis coste-beneficio (CBA). Obligaciones de desarrollar cogeneración si CBA positivo.
Medida y facturación	Contadores individuales e inteligentes (siempre que sea técnicamente posible y económicamente razonable). Facturas basadas en consumos reales.

Medida	Descripción
Transporte y distribución	Incentivos para que los operadores adopten medidas de eficiencia.

Fuente: Adaptación [8].

03. Soluciones al problema energético

3.1 Aspectos generales

En este apartado se procede al análisis de los parámetros, referidos al confort, a tener en cuenta a la hora de establecer un eficiente diseño arquitectónico.

En primer lugar la palabra confort se refiere, a un estado ideal del hombre que supone una situación de bienestar, salud y comodidad en la cual no existe en el ambiente ninguna distracción o molestia que perturbe física o mentalmente a los usuarios.

Existen dos tipologías de parámetros a la hora de evaluar el confort, por un lado los parámetros ambientales y por otro los parámetros arquitectónicos.

Los parámetros ambientales pueden ser medidos, así como establecerse rangos de los valores estándar adecuados para mantener las condiciones de bienestar adecuadas para un individuo. Los parámetros ambientales se dividen en temperatura del aire, temperatura de radiación, movimiento del aire y la humedad, como condiciones biotérmicas del confort [9].

En segundo lugar los parámetros arquitectónicos están íntimamente ligados con las características de las edificaciones y la adaptabilidad al espacio, el contacto visual y auditivo que le permiten a sus ocupantes.

En adición, se distinguen los factores de confort asimilados a las condiciones propias de los usuarios al ambiente. Estos factores tienen que ver con las características biológicas, fisiológicas, sociológicas o psicológicas de las personas.

Tabla 5: Factores del confort

Tipología	Factor
	Metabolismo (Alimentación, Actividad) Base o Basal (De trabajo o muscular)
	Ropa. Grado de asentamiento
	Tiempo de permanencia (Aclimatación).
Factores personales	Salud y color de la piel.
	Historial térmico, lumínico, visual y acústico. Inmediato. Mediato (Situación geográfica, época del año).
	Sexo, edad, peso (constitución corporal).
Factores socio-culturales	Educación. Expectativas para el momento y lugar considerados-

Fuente: [10].

3.1.1 El confort térmico

El confort térmico es una de las variables más importantes a evaluar a la hora de tomar decisiones en las rehabilitaciones energéticas. En esencia se trata de las condiciones de bienestar del individuo, pero desde el punto de vista de su relación de equilibrio con la temperatura y humedad de un lugar determinado.

Sin embargo no solo estos parámetros son evaluados, el movimiento del aire y la temperatura de las superficies envolventes de la estancia afectan significativamente a los usuarios.

Según estudios anteriores existen 6 factores y parámetros básicos que influyen directamente en los porcentajes de pérdida de calor del cuerpo humano y que afectan al bienestar térmico [10].

- **Temperatura del aire.**

Este parámetro es uno de los principales a la hora de determinar el grado de confort térmico de un espacio y se trata principalmente del estado térmico del aire a la sombra. Existen distintas suposiciones sobre los valores que la temperatura del aire debe alcanzar para conseguir confort térmico, sin embargo estos valores fluctúan en función de las características de los usuarios, de las actividades desarrolladas y de la humedad relativa [10].

- **Temperatura media radiante.**

Se trata de uno de los parámetros ambientales con menor consideración a la hora de la evaluación de edificios existentes y del diseño de nuevas viviendas. La temperatura media radiante es la temperatura media irradiada por las superficies envolventes de un espacio a su interior.

El calor por radiación se intercambia al existir dos cuerpos, uno de ellos más caliente que el otro, y se procede a la transferencia de calor del primero al segundo.

En conclusión si la suma de las temperaturas de las superficies de un espacio es mayor que la temperatura del usuario, éste sentirá calor y si es al contrario sentirá frío.

- **Humedad relativa.**

Se trata de otro de los parámetros que afecta en gran medida a la sensación térmica y se puede incidir en gran medida en él mediante correcciones en el diseño o mediante la incorporación de determinados sistemas de acondicionamiento.

La humedad relativa es la cantidad de agua que contiene el aire, por tanto si su valor es elevado el calor puede afectar negativamente a la sensación térmica al impedir la pérdida de calor por evaporación y generando sudor. Sin embargo si este valor es bajo el organismo se puede deshidratar.

Al igual que ocurre con la temperatura del aire, los valores de humedad relativa apropiados son muy discutidos.

- **Velocidad del aire.**

Para los reacondicionamientos pasivos de edificaciones, la velocidad del aire es un parámetro valioso al producir corrientes que pueden ser aprovechadas para refrescar o calentar ambientes. A pesar de ello las velocidades altas o las procedencias inadecuadas pueden ser consideradas más como un inconveniente.

Además la velocidad del aire puede ayudar a reducir la humedad y favorecer la ventilación de los espacios, variando con la frecuencia y con su fuerza la sensación térmica de las personas.

- **Tasa metabólica.**

El metabolismo es un factor que está relacionado con la capacidad que posee el cuerpo humano para producir calor a modo de motor. Es una producción continua de energía a la que se denomina metabolismo y la cuál corresponde a valores diferentes según la influencia del nivel de actividad de la persona, la edad, el sexo u otras.

- **La ropa.**

Este factor constituye una protección y obstaculización energética frente a la radiación solar, las bajas temperaturas y el viento, por lo que incide en el equilibrio térmico entre una persona y el medio que la rodea.

- **Sexo, Edad y Peso (constitución corporal):**

Estos factores se denominan de tolerancia al determinar el nivel de adaptación térmica de las personas y sus sensaciones térmicas [11].

3.2 Rehabilitación energética

La visión de la rehabilitación energética como una de las soluciones a la situación actual parece tener un gran consenso y concienciación en cuanto a su diagnóstico, pero hoy día es una rama aún muy desconocida frente a la nueva obra, aun habiendo aumentado la rehabilitación en los últimos años debido a la situación en la que nos encontramos.

Actualmente las rehabilitaciones en España son actuaciones puntuales, apareciendo en obras de investigación. Nuestro país, es uno de los países de la Unión Europea con mayor necesidad energética, pudiendo ahorrar rehabilitando los edificios ya existentes.

Las nuevas viviendas construidas consumen suelo y recursos irrecuperables y finitos, no son necesarias y son demasiado caras para que los colectivos con menos recursos puedan acceder a ellas.

Como norma general la rehabilitación energética de un edificio suele suponer unos ahorros en consumo de energía de entre el 5 y el 20%, disminuciones de las emisiones de CO₂ en un rango del 10 al 30% y ahorros anuales en las facturas.

Por otro lado excluyendo el factor usuario los principales aspectos que influyen en la demanda y consumo energético de un edificio son:

- Zona climática y orientación del edificio.
- Forma y volumen del edificio.
- Sección constructiva de fachadas y cubiertas.
- Tipo de instalaciones y equipos.

- **Fuentes energéticas disponibles.**

La rehabilitación energética se basa en tres aspectos fundamentales. En primer lugar en la sección constructiva de la envolvente térmica, esto permitirá la reducción de la demanda energética. En segundo lugar se deberá estudiar los tipos de equipos e instalaciones para la mejora de los rendimientos consiguiendo así reducir el consumo. Por último lugar se debe observar las fuentes energéticas disponibles para la posible implantación de energías renovables.

Una vez desglosados los puntos clave para una adecuada rehabilitación energética, se observa como los aislamientos en fachada pueden suponer un ahorro energético del 5-16% sobre el consumo total del edificio. Esta tipología de actuaciones favorece en mayor medida a los edificios situados en zonas climáticas frías.

Si se aísla la zona de cubierta supondría un ahorro energético de entorno al 4-14% del consumo total del edificio. Este ahorro por el contrario es recomendable para todas las zonas climáticas.

Por último si se pretende rehabilitar los huecos arquitectónicos el ahorro podría rondar del 3-10% sobre el consumo total del edificio. En este caso se debe considerar la implantación de vidrios con factor solar en los climas cálidos [12].

3.2.1 Estrategias pasivas de rehabilitación energética

Las estrategias pasivas más utilizadas en una rehabilitación energética se desarrollan intentando el mayor ahorro en las demandas de calefacción o refrigeración dependiendo de la severidad hallada en la zona, en verano o invierno. Estas estrategias suelen basarse en el máximo aislamiento y estanqueidad de la envolvente.

Para entender mejor los resultados que en la investigación se obtienen, se repasan las principales estrategias utilizadas.

- **Aislamiento Térmico:**

Diversos estudios demuestran que el ahorro energético que se deriva del uso de aislamiento térmico varía en función de la tipología del edificio, su volumetría, el clima, la tipología de material aislante y la configuración de la capa de aislamiento [13][14].

Por otro lado se desprende de diversos estudios que el mejor lugar para la colocación del aislamiento es al exterior, tanto para el invierno como para verano ya que la inercia térmica actuará como acumulador de energía [15].

Además en zonas donde se alcancen altas temperaturas, existe una mayor necesidad de aislamiento en las orientaciones este y oeste que son las más desfavorables, por el contrario la orientación norte es la que menor espesor necesita. [16].

- **Huecos:**

Los estudios desarrollados en el ámbito de los huecos y más concretamente de las superficies acristaladas, señalan la necesidad de la limitación de las ganancias solares en las épocas con altas temperaturas. Para conseguirlo se pueden aplicar numerosas soluciones como la implantación de toldos, lamas verticales, horizontales, extensiones de alero o persianas venecianas entre otras [17][18].

En cambio para el diseño es necesario tener en cuenta que estos elementos no provoquen sombras en los huecos durante el invierno, ya que las ganancias solares serán beneficiosas.

En adición, los cristales con un alto factor de reflectancia y un alto factor de emisividad infrarroja conseguirán mejorar los resultados [19].

- **Adecuado uso del edificio:**

El comportamiento de los usuarios del edificio es de gran importancia a la hora del ahorro energético del edificio. El usuario tiene influencia decisiva en el control de las protecciones solares que actúan en la reducción de las ganancias solares. También su actividad en la apertura de los huecos para la ventilación es importante para el confort térmico.

Algunos estudios afirman en que la forma del uso del edificio puede aumentar la demanda hasta en un 4,2% [20].

Otros estudios inciden en la importancia de la necesidad de establecer un buen diseño de los elementos de control con el fin de facilitarle a los usuarios las aperturas de intercambio térmico con el exterior [21].

3.3 Edificios Inteligentes

En los últimos años el auge de las nuevas tecnologías de la información y de la comunicación se ha introducido en los sistemas de control de edificios y la arquitectura.

En general este tipo de edificios deben tener un diseño que satisfaga al usuario con energía eléctrica convencional, energía eléctrica de emergencia, acceso a la red de datos, de voz, climatización, seguridad, etc.

Estos servicios proporcionan al usuario del edificio unas infraestructuras y comodidades que les faciliten la realización de sus actividades, esto se consigue mediante la calidad, fiabilidad, eficiencia energética y minimizando costes.

Los sistemas de control utilizados tienen componentes que generalmente van desde los microcontroladores asociados a elementos de planta, como pueden ser los termostatos o válvulas, hasta el procesador central donde se ejecutan los algoritmos de optimización de energía, sistemas de control de la seguridad del edificio, control de climatización...etc.

Sin embargo los edificios que están dotados de instalaciones que le son propias, como son las de climatización, seguridad o ascensores y que están debidamente gestionadas por un sistema sofisticado con controles integrados y centralizados, no se los denomina edificios inteligentes, sino automatizados [22].

Una definición de edificio inteligente, es la que lo describe como una edificación equipada con cableado estructurado para que los ocupantes puedan controlar de forma remota o programar una serie de dispositivos automatizados por medio de un solo comando.

Este concepto de edificio inteligente puede ser aquel que aloje un sistema que ajuste de manera variable la luz, la temperatura, la humedad mediante dispositivos de control sofisticados [23].

3.3.1 Objetivos de los edificios inteligentes

- **Arquitectónicos**

- a) Satisfacer las necesidades presentes y futuras de los ocupantes, propietarios y operadores del edificio.
- b) La flexibilidad, tanto en la estructura como en los sistemas y servicios.
- c) El diseño arquitectónico adecuado y correcto.

- d) La funcionalidad del edificio.
- e) La modularidad de la estructura e instalaciones del edificio.
- f) Mayor confort para el usuario.
- g) La no interrupción del trabajo de terceros en los cambios o modificaciones.
- h) El incremento de la seguridad.
- i) El incremento de la estimulación en el trabajo.
- j) La humanización de la oficina.

- **Tecnológicos**

- a) La disponibilidad de medios técnicos avanzados de telecomunicaciones.
- b) La automatización de las instalaciones.
- c) La integración de servicios.

- **Ambientales**

- a) La creación de un edificio saludable.
- b) El ahorro energético.
- c) El cuidado del medio ambiente.

- **Económicos**

- a) La reducción de los altos costos de operación y mantenimiento.
- b) Beneficios económicos para la cartera del cliente.
- c) Incremento de la vida útil del edificio.
- d) La posibilidad de cobrar precios más altos por la renta o venta de espacios.
- e) La relación costo-beneficio.
- f) El incremento del prestigio de la compañía [24].

3.3.2 Niveles de inteligencia

La inteligencia de un edificio se mide en el grado de:

- La satisfacción de las necesidades de los habitantes y su administración.
- La posibilidad de respetar y adaptarse al medio ambiente que lo rodea.

Se debe considerar como parte de la arquitectura de un edificio inteligente son:

- Protección contra accidentes y problemática en el edificio desde la intrusión, el robo, el clima, el incendio, etc.
- Prevención de contingencias mediante la compartimentación vertical de instalaciones, sellado de pasos de ventilación de muros y losas, así como control automatizado en compartimentaciones.
- Diseño arquitectónico seguro.
- El control de los materiales combustibles mediante el empleo de retardantes en los acabados de los edificios.

Existen 3 grados de inteligencia, en función de la automatización de las instalaciones o desde el punto de vista tecnológico:

- Nivel 1: Inteligencia mínima o básica. Se trata de un sistema básico de automatización del edificio, el cual no está integrado en el mismo. Es una automatización de la actividad y de los servicios de telecomunicaciones pero que no están integrados.
- Nivel 2: Inteligencia media. El edificio posee un sistema de automatización totalmente integrado. Sistemas de automatización de la actividad, sin una completa integración de las telecomunicaciones.
- Nivel 3: Inteligencia máxima o total. Todos los sistemas de automatización, la actividad y las telecomunicaciones están totalmente integrados. El sistema de automatización del edificio se divide en sistema básico de control, sistema de seguridad y sistema de ahorro de energía [25].

3.4 SmartPoliTech

El presente trabajo se encuentra englobado en el proyecto SmartPoliTech, por ello se considera necesario el conocimiento de los principales objetivos y funcionamiento del mismo.

El objetivo principal de este proyecto es la transformación de la Escuela Politécnica de Cáceres en un entorno experimenta, un living-lab, dónde se puedan diseñar, implantar y validar sistemas capaces de crear espacios inteligentes, para conseguirlo se desarrollan

tecnologías SmartX. Por otro lado se pretende que el espacio se energéticamente eficiente, que es en el apartado en el que se trabaja en el presente estudio, y que se facilite la vida social y académica.

El lugar elegido para su desarrollo es la Escuela Politécnica como se ha comentado con anterioridad, ya que en ella se encuentran diversos grupos de investigación en las diferentes ramas que desarrolla el proyecto, como son, los de tecnologías de la información, de las comunicaciones, de la edificación, medioambientales, así como otras empresas spin-off y start-up. Todo ello ayudado por los estudiantes de grado y postgrado, cuyos trabajos fines de estudios aportan a este ambicioso proyecto.

La planificación del mismo parte de un proceso paulatino de inclusión de sensores y de automatización de las distintas estancias del centro con el fin de ir incrementado los niveles de inteligencia. La instalación de sensores y actuadores en espacios delimitados y controlados por elementos de inteligencia local enlaza, claramente, con los conceptos desarrollados en Robótica durante las últimas décadas y que han sido adaptados y ampliados en campos de reciente creación como la Inteligencia Ambiental, la Inmótica o la Computación Ubicua. Cada tipología de espacio debe ser robotizado según el uso para el que esté destinado y cada agrupación de espacios debe incorporar nuevos elementos de inteligencia.

Los objetivos que debe alcanzar esta inteligencia son múltiples y a veces contrapuestos, por lo que es necesario incluir algoritmos de planificación automática y de optimización multiobjetivo, junto con técnicas de aprendizaje que incrementen el conocimiento del sistema.

Partiendo de todo ello, SmartPoliTech plantea una aproximación incremental a estos objetivos, iterando sobre tres fases: selección de sensores y actuadores, modelado predictivo del espacio, y planificación y control. En cada apartado del proceso, las tecnologías que se usen estarán sometidas a pruebas de fiabilidad y durabilidad.

Este proyecto plantea diferentes retos tecnológicos para poder recorrer el camino que va desde un espacio tradicional, no tecnificado, a un espacio inteligente que interactúa con sus habitantes a través de aplicaciones y servicios web accesibles desde dispositivos móviles. Un espacio inteligente como el que se propone se basa en la filosofía de datos abiertos (Open Data) para permitir que todos los que habitan el espacio puedan imaginar y crear nuevas aplicaciones y servicios cada día. Para ello es necesario desarrollar tecnologías en cinco frentes: conectividad de sensores, almacenamiento masivo y de alta disponibilidad, visualización, modelado y planificación.

Planificación SmartPoliTech



Figura 2: Planificación SmartPoliTech [26].

emisiones de CO₂ y la aportación consiguiente a la sostenibilidad ambiental justificarían, por si mismos, el esfuerzo humano y económico.

El beneficio a medio plazo de este trabajo en el que interactúan diversas ramas de la escuela, es alcanzar un alto potencial tecnológico en un plazo corto y en un mercado incipiente de gran potencial.

Por otro lado, el proyecto busca a medio plazo generar una nueva imagen de la Escuela Politécnica como punto de referencia internacional en tecnologías SmartX y líneas estables de financiación a través de contratos con empresas, convenios y proyectos de I+D+i [26].

El avance en estos frentes conlleva la investigación en middlewares de comunicación de tecnología abierta muy flexibles, escalables y seguros que permitan la comunicación de cientos o miles de dispositivos heterogéneos con un sistema de almacenamiento en la nube de alta accesibilidad, introducir bases de datos NoSQL, explorar la intersección de la Internet de las Cosas con la Inmótica, la filosofía Open Data con la Minería de Datos, y apostar por el desacoplo entre el almacenamiento de los datos y sus usos finales. Todos estos son retos que requieren la participación coordinada de grupos con experiencia en electrónica, comunicaciones, sistemas de información, ingeniería de datos, ingeniería del software, inteligencia artificial, aprendizaje automático, estadística, acústica, edificación, instalaciones, etc. trabajando sobre un escenario común.

Los beneficios que se pretenden obtener con dicho proyecto implican reducciones inmediatas y cuantificables en los costes energéticos del Centro, con su correspondiente ahorro económico. Este ahorro de recursos, disminución de

04. Revisión de trabajos anteriores y estudio actual.

4.1 Trabajos anteriores

Existen numerosos estudios que abordan la temática que en este trabajo se estudian por el auge en el tema de la eficiencia energética, todos ellos tienen algo en común, las pretensiones en el ahorro energético del edificio y el consiguiente ahorro económico y ambiental.

El objetivo de muchas de ellas es el desarrollo de una evaluación de las estrategias pasivas de rehabilitación energética con el fin de determinar su comportamiento e idoneidad. Los resultados de estos estudios muestran que el uso del aislamiento es necesario en todo el territorio nacional, aunque su mayor efectividad sobre la demanda anual del edificio dependerá de unas subzonas a otras. Además, ponen de relieve que una ventilación optimizada es imprescindible para abordar la rehabilitación energética en el clima [27][28][29].

Otros estudios se centran en los costes económicos y metodologías para demostrar que una buena rehabilitación energética puede conseguir que una edificación antigua, se convierta en un lugar energéticamente sostenible [30].

Sin embargo existen proyectos de investigación cuyo objetivo principal es comparar el edificio variando su emplazamiento, para poder observar así los efectos que de la climatología y la orientación provocan en la demanda [31].

En cuanto a los estudios relacionados con smartcities y smartbuildings, en relación al proyecto SmartPoliTech existen estudios que incluso están centrados en edificios universitarios inteligentes. A pesar de ello, estos estudios no son tan ambiciosos como el contado con anterioridad ya que se tratan de rehabilitaciones energéticas controladas y visualización de los servicios que ofrece la universidad y su ubicación, así como la localización de despachos, aulas, laboratorios, etc [32, 33, 34].

- **Design Builder:**

Lo que todos ellos tienen en común es el simulador empleado, ya que Design Builder es el simulador energético más completo que existe en la actualidad. Para analizar y estudiar detalladamente el funcionamiento climático de un edificio existe la herramienta de simulación energética computacional llamada Design Builder cuyo motor de cálculo es EnergyPlus.

EnergyPlus es un programa de simulación energética de edificios el cual modela y calcula la calefacción, refrigeración, iluminación, ventilación y otros flujos energéticos. Se basa en la descripción de un edificio, la construcción física, la localización, orientación, los sistemas mecánicos, etc. A partir de esta descripción, EnergyPlus calcula las cargas necesarias para mantener la consigna de control

térmico de la calefacción y refrigeración, el consumo de energía de los equipos de la planta, etc. Realizando una simulación igual que un edificio real.

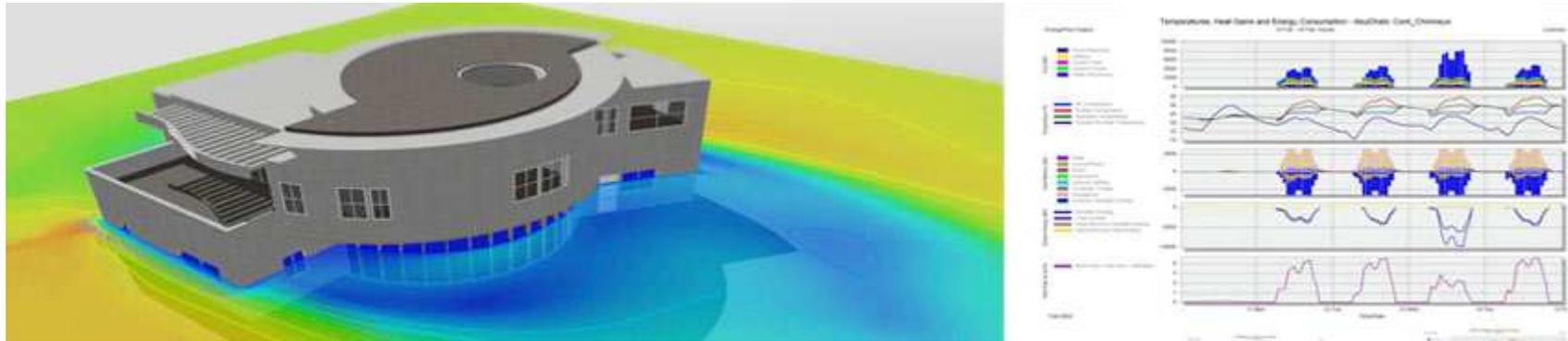


Figura 3: Interfaz Design Builder [35].

Aunque, EnergyPlus es una herramienta muy avanzada para realizar simulaciones, también es una herramienta muy compleja, ya que requiere un alto grado de experiencia y conocimiento, y termina siendo una herramienta poco utilizada entre ingenieros y arquitectos, y algo utilizada en centros de investigación.

Para solucionar este problema, es donde entra en juego DesignBuilder, ya que es un software de fácil manejo en comparación al EnergyPlus. DesignBuilder permite realizar simulaciones sin complicaciones, simplemente definiendo el modelo del edificio y solicitando los resultados, los cuales son calculados con EnergyPlus [36].

El programa permite conocer el comportamiento térmico, lumínico y energético de edificios mediante tres módulos: Simulación Energética, CFD e Iluminación Natural. Dispone para ello de plantillas de ocupación, iluminación, clima, ventilación acorde a distintos países, por lo que se han definido plantillas acordes a estándares españoles. Design Builder realiza las simulaciones a partir de la consideración de datos climáticos del año 2002, el cual se considera año tipo.

Para poder caracterizar el edificio se determinan: sus propiedades, los elementos que lo conforman (pasivos y activos), su relación con el medio ambiente circundante, emplazamiento, estudio de soleamiento, zonificación térmica del edificio, condiciones de contorno, modelización y componentes de uso, sistemas de climatización, instalaciones convencionales y renovables del edificio en cuestión, etc.

El programa ofrece la posibilidad de simular el edificio en la “Típica semana de invierno/verano” o en la “Semana de estudio de invierno/verano”. La primera es la semana que el programa considera representativa del invierno o del verano, la cual se usa en este estudio, mientras que la segunda es la semana más desfavorable para cada una de las estaciones [36, 37, 38].

4.2 Estudio Actual

Tras la revisión de otros estudios similares, en este apartado se expresa una breve introducción al estudio realizado, resumiendo su metodología, principales resultados y conclusiones, así como los objetivos del proyecto.

Este proyecto queda de sobra justificado una vez analizado la problemática actual en cuanto a emisiones y derroche energético, las políticas nacionales y europeas impulsan con sus medidas el ahorro energético por lo que el presente proyecto, y por tanto SmartPoliTech, son estudios de investigación que aportan soluciones.

La metodología que se consideró más adecuada es la seguida por la mayoría de los estudios que investigan sobre el tema, donde partiéndose del conocimiento más detallado del edificio, se introducen todos los parámetros en el simulador energético, Design Builder, para la obtención de resultados y así conocer de la manera más precisa el funcionamiento del edificio y poder encontrar sus puntos débiles tanto constructivos, como funcionales.

Los resultados obtenidos que más resaltaron fueron el mal comportamiento térmico ofrecido por la totalidad del edificio, resaltándose una segunda planta más penalizante aún que la primera y encontrándose como elementos de peor comportamiento las ventanas y acristalamientos, debido a las baja estanqueidad al aire que ofrecen y a sus altas transmitancias térmicas, y por otro lado las cubiertas, que ofrecen un mayor sobrecalentamiento a la planta segunda ocasionándole mayores temperaturas.

4.2.1 Objetivos del proyecto

Los objetivos principales del presente estudio son:

- Conocer el uso del edificio, para establecer si se está utilizando de manera adecuada.
- Analizar el comportamiento térmico del edificio, pudiendo llegar a discriminar si los elementos que lo componen tienen una buena actuación o no, si existen diferencias en el comportamiento de las plantas, y si la orientación de las estancias es importante.
- Obtener las demandas y consumos de calefacción y refrigeración, así como los totales del edificio. Además de conseguir las emisiones totales y la calificación energética que según esta metodología obtendría el edificio.

02 Metodología

En este capítulo se desarrolla paso a paso la metodología seguida para la obtención de resultados que en el capítulo 3 se recogen. Para ello se subdivide el capítulo en apartados y subapartados según orden en el tiempo en el que se han desarrollado.

01. Búsqueda de información

1.1 Revisión del estado del arte

El primer paso a seguir en toda investigación es la revisión del estado del arte para contemplar lo que se desarrolla en otros lugares, y más importante aún como se ejecuta.

Por este motivo, el primer paso fue la búsqueda bibliográfica de artículos científicos que abordaran la problemática actual sobre la energía, y más concretamente en el sector de la edificación. Se indagó sobre la situación en el ámbito nacional, así como las emisiones generadas por cada sector para cerciorarse de la envergadura del problema.

En segundo lugar, se investigó sobre el estado actual en materia de normativa sobre eficiencia energética, tanto a nivel estatal como a nivel europeo para saber si las políticas actuales y futuras apuestan por el tema objeto de estudio.

Tras ello se procedió a la búsqueda de posibles soluciones a la problemática energética con el objeto de dar a lector la información suficiente sobre conceptos generales de arquitectura , energía y confort, así como los aspectos claves a la hora de determinar los elementos más relevantes para una rehabilitación energética eficiente, los ahorros que estos conseguirían y la importancia en la forma del uso.

Por último al encontrarse enmarcado el presente proyecto en SmartPoliTech, se consideró oportuno la búsqueda de información sobre conceptos como domótica e inmótica, además de precisar el objetivo e información general sobre SmartPoliTech.

1.2 Trabajos anteriores

Una vez habiéndose contextualizado en el tema, se procedió a la búsqueda de artículos científicos, proyectos fin de carrera y de máster, con el fin de visualizar la metodología elaborada en otros trabajos de investigación similares. Esta búsqueda arrojó que no existe muchos trabajos en el ámbito de los edificios docentes inteligentes y la sinergia entre arquitectura informática. A pesar de ello sirvieron como ejemplo algunos estudios a la hora del establecimiento de criterios que más adelante se explican.

Tras esta búsqueda, se desarrolló una investigación más centrada en el edificio objeto de estudio, para ello se desarrolló una entrevista con el Arquitecto Técnico de la Unidad Técnica de Obras y Mantenimiento de la Universidad de Extremadura para la recogida de información constructiva, planos y proyectos. Por otro lado se inició un examen en la biblioteca universitaria sobre trabajos que se llevasen a cabo con la temática de la escuela politécnica o el pabellón de arquitectura técnica [39], ya que los planos adquiridos de la Unidad Técnica de Obras y Mantenimiento no estaban actualizados.

02. Trabajo de campo

Partiendo de las conversaciones tenidas con el Arquitecto Técnico y del proyecto conseguido, se procedió a la revisión de los planos para la comprobación de su veracidad. Para ello y con ayuda de un metro, se comprobó que los espesores de los cerramientos, forjados y tabiquería existente coincidieran con lo especificado por el Técnico y por la memoria constructiva hallada [39].

Una vez realizado esto, se examinaron las tipologías de carpinterías exteriores existentes, así como de los vidrios, para discernir qué tipología de vidrio era la existente en el edificio, se contó con la ayuda de un calibre con el cual se midió el espesor del vidrio.

Paso siguiente, se entabló conversación con los conserjes de la escuela para visitar la totalidad de las estancias con acceso restringido de la escuela y comprobar así cuál de ellas contaban con refrigeración y/o calefacción. Además de ello se elaboró un conteo de los elementos de los radiadores de cada estancia para una posible introducción de estos datos en el software informático, así como revisión del etiquetado de los aparatos de refrigeración para la búsqueda de sus características técnicas.

Por último se concertó una cita con el encargado de mantenimiento del centro para la visita de las calderas y así poder hacerse también con las características técnicas del equipo de calefacción del edificio.

03. Introducción de datos en simulador

En este apartado se aclaran todos los criterios asumidos para la introducción de datos en el simulador Design Builder, ya que al ser un software complejo, permite la introducción de numerosas variables que han de ser especificadas al detalle.

3.1 Modelo 3D

El primer apartado desarrollado en el simulador fue la introducción de la geometría del edificio. Para ello se contó con la existencia de planos del mismo [39], y tras la limpieza de los elementos del plano que pudieran ocasionar dificultades a la hora de la introducción del modelo, se importó en el software mencionado.

Para la introducción del modelo se estableció un criterio de unificación y simplificación del mismo debido a que al tratarse de un edificio de grandes dimensiones, el tiempo de simulación para la obtención de resultados se incrementaría en gran medida si no se introdujese el modelo de esta forma.

Esta unificación básicamente se basó en la unión de estancias que contaran con el mismo uso, así como la unificación de sus superficies acristaladas en una sola que aunara la superficie total. Era necesaria que para la unión de estas estancias además de ser colindantes tuviesen el mismo uso, ya que solo se puede asignar un horario de utilización por sala, así como un horario de funcionamiento de sombreado, etc.

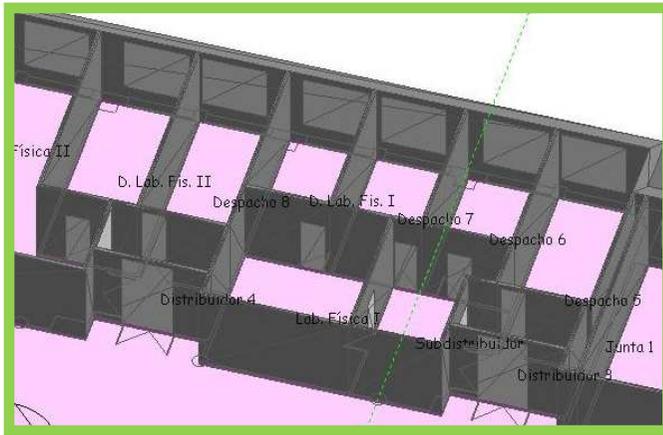


Figura 4: Despachos 2 antes de simplificación.

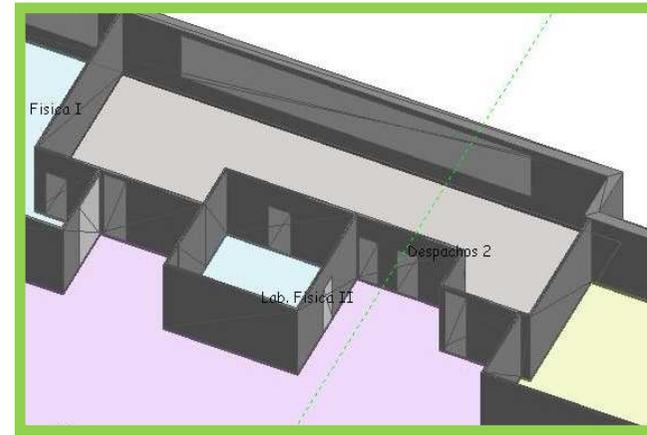


Figura 5: Despachos 2 después de simplificación.

En la Figura 4 y 5 vemos el antes y el después de una de las zonas simplificadas. Los despachos 2 conforman los despachos de física que como pueden apreciarse en la primera figura están compuestos por 6 estancias de diferentes morfologías y dónde se hallan ventanas de iguales dimensiones en cada una de ellas. Tras la unificación el conjunto de despachos pasa a ser uno solo con un mismo uso y una superficie acristalada que agrupa la totalidad de las ventanas.

Aparte de estas simplificaciones, el resto del edificio se introdujo tal y como se encuentra en la actualidad consiguiéndose entonces un volumen de aire similar al existente en la realidad. Las alturas fueron introducidas como se indica en los manuales, desde la cota inferior del forjado de planta hasta la cota inferior de forjado superior por lo que la única variación con la realidad es el volumen de aire que sustituye a los tabiques.

Por último se introdujeron también la totalidad de los huecos que existen entre plantas para la obtención de un pasillo central en el modelo que se ajustase a lo existente y poder así observar la transferencia de calor que presumiblemente se obtendrá del lucernario superior tanto en planta primera como en planta baja.

El modelo final en 3D que se obtuvo del pabellón de Arquitectura Técnica, se observa en las Figuras 6, 7 y 8.

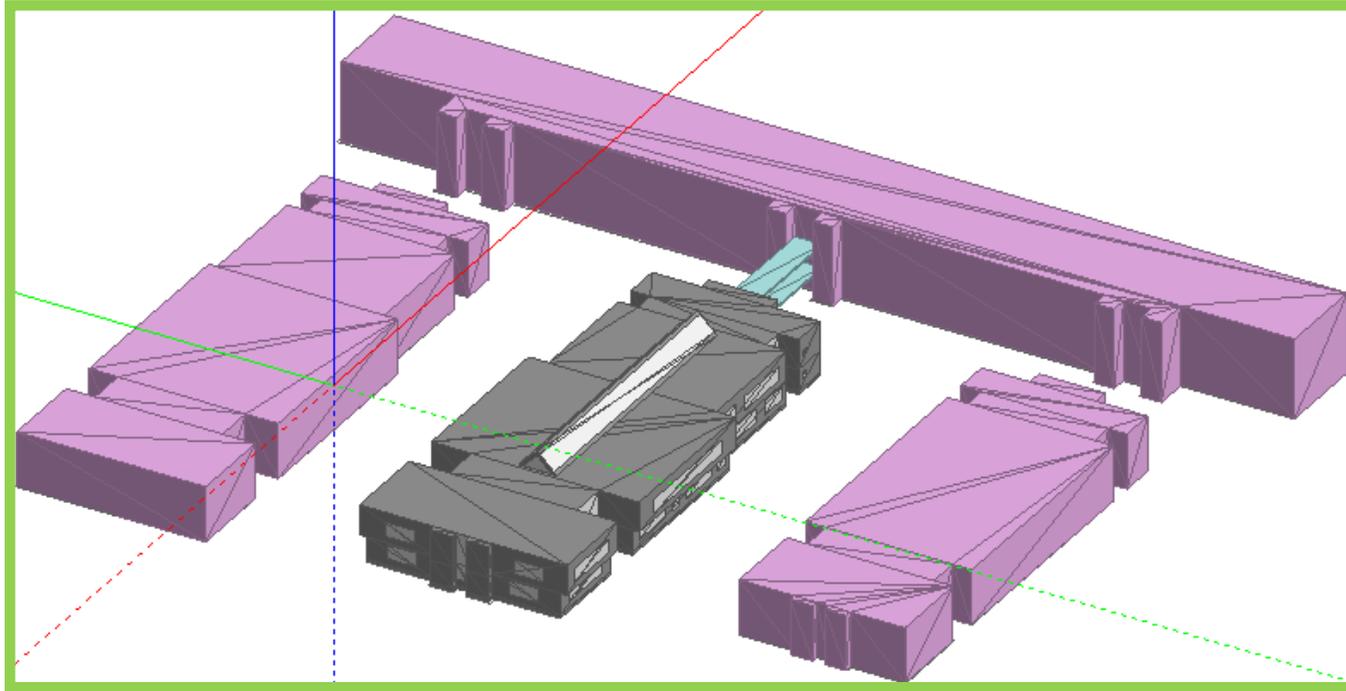


Figura 6: Modelo 3D del Pabellón de Arquitectura Técnica.

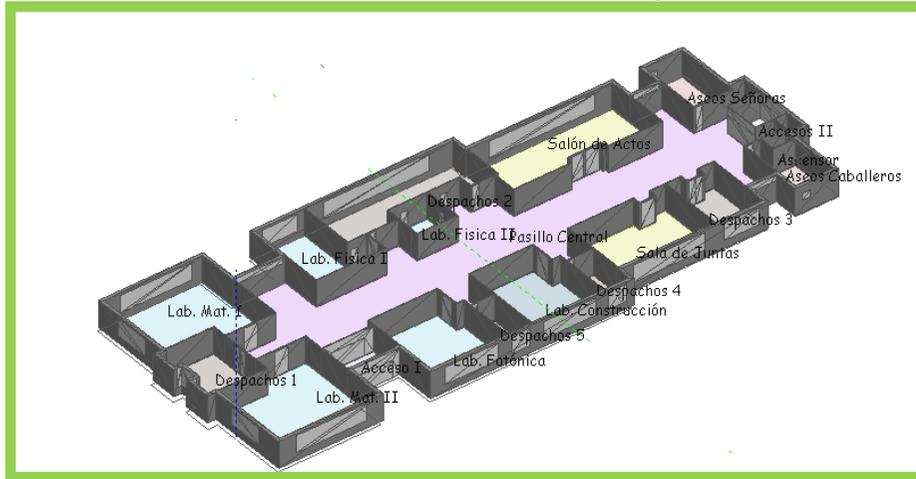


Figura 7: Planta 1 del Pabellón de Arquitectura Técnica.

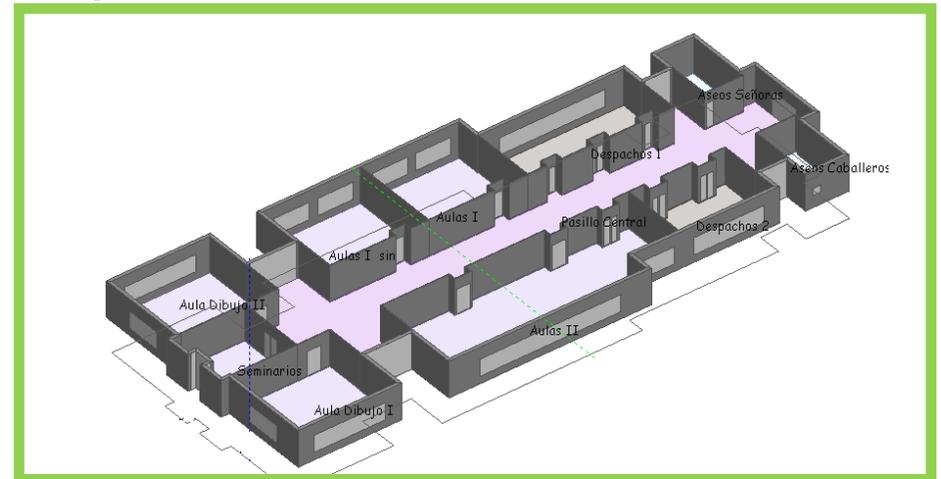


Figura 8: Planta 2 del Pabellón de Arquitectura Técnica.

3.2 Actividad

En este apartado se detallan todos los elementos que se introdujeron en la pestaña de Actividad de Design Builder dándose además una explicación justificada a la elección de estos datos.

3.2.1 Ocupación

Este factor es de gran importancia a la hora de las ganancias, ya que una sala desocupada no generará ninguna ganancia, mientras que una sala repleta de gente, como puede ser un aula, estas ganancias tendrán relevancia. Además de la introducción del número de personas en función de los metros cuadrados de la estancia, en este apartado se introdujo el horario de ocupación de la estancia, por ello a continuación se detallan en las siguientes tablas la ocupación y su horario.

Tabla 6: Ocupación de estancias.

Estancia	Ocupación Total (personas/m ²)	Funcionamiento
Accesos	0,04	Entradas
Aseos	0,04	Entradas
Despachos	0,02	Trabajadores
Laboratorios	0,02	Trabajadores
Salas	0,06	Bajo uso
Aulas	0,20	Aulas
Aulas Dibujo	0,20	Bajo uso
Seminarios	0,20	Bajo uso
Pasillo Central	0,02	Politécnica

En la Tabla 6 se encuentran agrupadas las estancias con igual ocupación y horario de funcionamiento, especificándose a continuación los horarios de funcionamiento de forma mensual, a excepción del horario de fines de semana, el cual siempre está desactivado.

Tabla 7: Funcionamiento de “Entradas”.

Mes	Horario L a V
Enero	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Febrero	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Marzo	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Abril	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Mayo	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Junio	Media hora por cada dos horas.
Julio	Media hora por cada dos horas.
Agosto	Off
Septiembre	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Octubre	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Noviembre	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).
Diciembre	15 minutos antes y después del inicio de cada clase. (Media hora por cada hora).

En la Tabla 7 se aprecia el horario de funcionamiento para los accesos y baños, se han considerado quince minutos antes y después de cada clase debido a que estos son los momentos de llegada habituales al pabellón, así como los tiempos libre para el uso del aseo.

Tabla 8: Funcionamiento de “Trabajadores”, “Aulas”, “Bajo uso” y “Politécnica”.

Mes	Horario L a V “Trabajadores”	Horario L a V “Aulas”	Horario L a V “Bajo uso”	Horario L a V “Politécnica”
Enero a Julio	8:30-14:30 y 16:00-20:00	8:30-14:30 y 15:30-21:30	11:30-13:30	8:30-21:30
Agosto	Off	Off	Off	Off
Septiembre a Diciembre	8:30-14:30 y 16:00-20:00	8:30-14:30 y 15:30-21:30	11:30-13:30	8:30-21:30

En la Tabla 8 se observa el resto de horarios de funcionamiento instaurado para el resto de estancias, destacándose el desuso del edificio en agosto. Estos horarios de funcionamiento se consideraron así tras la observación del uso de la escuela en cada una de sus estancias, estableciéndose unos horarios promedios debido a la imposibilidad de vigilar los horarios de entrada y salida de cada estancia y a la irregularidad de éstos. Este factor podrá precisarse tras la sensorización pretendida por SmartPolitech.

3.2.2 Metabolismo

En este apartado cuya definición se abordó en la introducción, se estableció la tasa metabólica en función de la actividad desarrollada de forma usual en cada una de las estancias como puede observarse en la Tabla 9. Además se estableció como vestimenta para invierno 1 clo, y para verano 0,5 clo.

Tabla 9: Metabolismo por estancia.

Estancia	Acción	Tasa metabólica
Accesos	Caminar	140
Aseos	Trabajo ligero	120
Despachos	Trabajo ligero de oficina	120
Laboratorios	Trabajo caminando	160
Salas	Trabajo ligero	120

Estancia	Acción	Tasa metabólica
Aulas	Escribir	108
Aulas Dibujo	Escribir	108
Seminarios	Escribir	108
Pasillo Central	Caminar	140

3.2.3 Control ambiental

Este es un apartado de suma importancia ya que en este punto se ajusta las temperaturas de funcionamiento de cada estancia en cuanto a calefacción y refrigeración.

Las temperaturas de funcionamiento de calefacción se establecieron en todas los recintos igual debido a la inexistencia de un termostato que regule la temperatura de manera unitaria. Se escogieron 20 °C debido a que esta es la temperatura considerada de confort en invierno por numerosos estudios, además el pabellón cuenta desde diciembre del pasado año con sensores en aulas, despachos y pasillo central por lo que se ha podido comprobar cuál es la temperatura media en los periodos de funcionamiento de la calefacción, que coincide con estos 20°C.

En cuanto a la temperatura de refrigeración se consideró una temperatura de funcionamiento de 24 °C que se encuentra en el rango de temperaturas de confort para el verano por diversos estudios. Se ha considerado esta temperatura ya que en este trabajo se aboga por un uso eficiente de la energía.

3.2.4 Equipos y ordenadores

El último punto del apartado de ocupación se trata de los equipos y ordenadores que se hallan en cada estancia. Para este punto como se ha contado en puntos anteriores, se realizó una visita por la totalidad de las estancias con el fin de establecer cuáles de ellas contaban con ordenadores o equipos de oficina.

Finalmente se observó e introdujo en el modelo unas ganancias por computadoras de 4 W/m^2 [40] en la totalidad de los despachos, así como en los laboratorios de materiales. El horario de funcionamiento de estos computadores es el de “Trabajadores” que se menciona en la Tabla 8.

3.3 Cerramientos

En esta pestaña, se introdujeron la totalidad de los cerramientos existentes, incluyéndose las variaciones de acabados según las estancias que existen en la escuela, así como las distintas tabiquerías, ventanas, puertas, y forjados con diferentes solados. La totalidad de los materiales introducidos pertenecen a la memoria constructiva del pabellón de Arquitectura Técnica del proyecto fin de carrera anteriormente mencionado [39].

El subapartado final de estanqueidad al aire se introdujeron las renovaciones hora establecidas por la norma DIN 1946 [41]. Se ha escogido seguir la norma como criterio dada la imposibilidad de generar un modelo de funcionamiento que aborde la realidad y los datos son los reflejados en la Tabla 10. Por ello y como es el criterio por el que se aboga en la totalidad del proyecto, se sigue la normativa para la obtención de una buena calidad del aire.

Tabla 10: Renovaciones/hora de estancias.

Estancia	Renov./hora
Accesos	1
Aseos	5
Despachos	4
Laboratorios	5
Salas	5
Aulas	5
Aulas Dibujo	5
Seminarios	5
Pasillo Central	1

3.4 Aberturas

Este punto es el referido a los huecos formados por ventanas y puertas. Los acristalamientos del pabellón fueron introducidos como cristales del tipo 4/6/4 debido a una previa medida con el calibre. El otro punto importante a resaltar es el sombreado, donde se colocó persianas opacas con reflectividad media y al exterior en todos los casos exceptuando al sombreado del lucernario, el cual se introdujo al interior que es su posición real.

La programación de los sombreados en las ventanas exteriores se ajustaron con arreglo a criterios de eficiencia, es decir, las persianas permanecerán subidas en el momento en el que exista luz natural para evitar el gasto de iluminación artificial. Además se procuró que los horarios de bajadas de persianas coincidieran con el anochecer en invierno para evitar pérdidas y en verano en las horas desocupadas para evitar ganancias.

En la Tabla 11 se refleja el horario de funcionamiento de los sombreamientos y el horario de funcionamiento del toldo interior por otro lado, se introdujo durante todo el año cerrado a excepción de los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre para evitar en la medida de lo posible las ganancias en el interior.

Tabla 11: Funcionamiento de “Sombreamiento”.

Mes	Horario L a V	Horario Fin de Semana
Enero	8:30-18:00	On
Febrero	8:30-18:00	On
Marzo	8:30-19:00	On
Abril	8:30-19:00	On
Mayo	8:30-20:00	On
Junio	8:30-21:30	On
Julio	8:30-21:30	On
Agosto	On	On
Septiembre	8:30-21:30	On
Octubre	8:30-20:00	On
Noviembre	8:30-19:00	On
Diciembre	8:30-18:00	On

3.5 Iluminación

Para rellenar este apartado se procedió en primer lugar al cálculo del VEEI tipo de las luminarias según código técnico [40].

$$VEEI = P \times \frac{100}{S \times E_m}$$

Siendo:

P: la potencia total instalada en lámparas más equipos auxiliares (W).

S: la superficie iluminada (m²).

E_m: iluminancia media horizontal mantenida (lux).

En el caso que nos ocupa se utilizan fluorescentes, debido a la imposibilidad de conocimiento de la potencia de la luminaria existente, se optó por elegir una casa comercial con luminarias de similares características a las usadas (Lumilux), con uso específico para edificio público y cuya potencia de instalación es de 10 W por fluorescente.

La superficie media iluminada por cada conjunto de 2 fluorescente es de 6 m² aproximadamente y la iluminancia media horizontal mantenida para un edificio público debe ser al menos de 100 lux. Luego:

$$VEEI = 20 \times \frac{100}{6 \times 100} = 3,3 W$$

Otro punto a incluir fue el tipo de luminaria, que en la totalidad es superficial con una Fracción radiante= 0,72 y una Fracción visible= 0,18 , excepto en el pasillo central que es empotrada y cuenta con una Fracción radiante= 0,37 y una Fracción visible= 0,18.

Finalmente el apartado se culminó rellenando el horario de funcionamiento, en este caso como se viene señalando en el resto de horarios, se introdujo un horario de iluminación que fuese lo más eficiente posible, aprovechando al máximo la luz diurna.

3.6 HVAC

En este sexto y último punto, se relatan los datos que se introdujeron en cuanto a los sistemas de climatización que existen en el edificio y los criterios por los que se optó.

En cuanto al apartado de calefacción, en un primer lugar el simulador calculó la capacidad de calefacción necesaria para mantener la estancia a la temperatura consignada. No se consiguió introducir la capacidad calorífica de la totalidad de los elementos por radiador de cada estancia, ya que la capacidad de calefacción se calcula a través de las temperaturas y flujo de calor cada media hora para cada zona requeridas, para mantener así las temperaturas de funcionamiento en cada zona.

El combustible utilizado es el gas natural y el COP del sistema introducido fue de 0,65 debido a que a pesar de que las características técnicas de la caldera indicaba un rendimiento del 90%, tras las conversaciones con el encargado de mantenimiento del edificio se llegó a la conclusión de que la caldera con el paso de los años había reducido su rendimiento.

Finalmente el horario de funcionamiento (Tabla 12), se introdujo con arreglo a las conversaciones mantenidas con el encargado de mantenimiento, así como la consulta de los datos de sensorización del pabellón que indicaban las horas de comienzo y fin de uso.

Tabla 12: Funcionamiento de “Calefacción”.

Mes	Horario L a V
Enero a Marzo	8:00-14:00 y 16:00 a 20:00
Abril	8:00-12:30 y 18:00 a 21:30
Mayo a Octubre	Off
Noviembre y Diciembre	8:00-14:00 y 16:00 a 20:00

Dentro del apartado de refrigeración de nuevo se introdujo la capacidad de refrigeración calculada por el sistema por las razones que se han comentado con anterioridad para el sistema de calefacción. El combustible utilizado por los aparatos de refrigeración es la electricidad y el COP de rendimiento de los aparatos es de 2,5. En la Tabla 13 se aprecia el horario de funcionamiento de refrigeración.

Tabla 13: Funcionamiento de “Refrigeración”.

Mes	Horario L a V
Enero a Mayo	Off
Junio	12:00-19:00
Julio	10:00-21:00
Agosto	Off
Septiembre	11:00-20:00
Octubre a Diciembre	Off

04. Obtención y procesamiento de resultados

Una vez introducido la totalidad del modelo, así como la totalidad de los parámetros comentados con anterioridad, se procedió al cálculo de los resultados. Tras ello y debido a la gran cantidad de información que ofreció el simulador, se recopilamos los datos que se consideraron relevantes para el estudio en cuestión.

Tras la recopilación de los datos en un Excel, se elaboraron las gráficas, para ello se extrajeron también las superficies de las estancias con el fin de establecer los datos en kWh/m² y poder así compararlos entre ellos. Además esto se ha realizado así en los datos finales de demanda, consumo y emisiones ya que no todo el edificio posee, por ejemplo, demanda, consumo y emisiones pertenecientes a la

calefacción, solo se introdujeron en cada apartado los metros cuadrados de estancia que estuviesen, calefactados, refrigerados, iluminados...etc. Con esto se consigue un resultado más ajustado.

Sin embargo el simulador no ofrece los datos de consumo de refrigeración, sino que solo aporta el consumo de la refrigeradora, por lo que se optó como criterio el cálculo del consumo de refrigeración partiendo de la demanda. Existe una relación constante entre la demanda de calefacción y su consumo en Design Builder, esto se mantiene así en otros simuladores como es Calener VyP y aquí ocurre lo mismo con la refrigeración. Por todo ello y partiendo de la relación existente entre demanda/consumo de calefacción se obtuvo el consumo de refrigeración.

Por último y para poder diferenciar que emisiones provenían de cada sistema, se convirtió el consumo de cada combustible (kWh/m²) en kg de CO₂ a través de los coeficientes de conversión que son 0,685 para la electricidad y 0,195 para el gas.

03 Resultados y discusión

Capítulo 03 Resultados y discusión

En este capítulo se exponen los resultados obtenidos tras la introducción de la totalidad del modelo en el simulador Design Builder, así como la explicación a los resultados obtenidos para terminar el proyecto en el siguiente apartado de conclusiones.

En primer lugar, se pretende desarrollar una breve introducción para el mejor entendimiento de los resultados que a continuación se exponen.

Al comienzo del apartado se muestran dos planos esquemáticos a escala 1/300, dónde aparecen plantas, alzado y sección del edificio, para que se tenga constancia de la geometría del mismo, además se señalan la situación de las diferentes estancias para una mejor ubicación de las mismas a la hora de entender los resultados.

- Datos del sitio:

Acto seguido, aparecen los datos relacionados con el sitio, la ciudad de Cáceres, dónde se analiza su climatología para que el lector se haga una idea de las condiciones exteriores del emplazamiento del edificio. Tras ello se encuentra un diagrama psicrométrico de Givoni de la ciudad de Cáceres, dónde a partir de humedades relativas y temperaturas mensuales se obtiene un gráfico que muestra en que meses del año se llega a alcanzar el confort en un edificio y en cuales de estos meses se consigue el confort con algún tipo de ayuda.

- Confort:

Tras ello comienza el apartado de confort, en él se tratan las temperaturas interiores alcanzadas en diferentes estancias, diferenciándose en primer lugar las diferencias existentes en las dos plantas del edificio y en segundo lugar apreciándose las variaciones entre las estancias climatizadas y las no acondicionadas en dos periodos, verano e invierno.

- **Análisis energético del edificio:**

Una vez conocida la situación en el exterior e interior del edificio, el siguiente punto que se desarrolla es el análisis del comportamiento del edificio. Para ello se analiza unitariamente cada estancia encontrándose en un primer lugar un gráfico de ganancias internas de la estancia. Este gráfico varía de estancia en estancia debido a que no todos los recintos cuentan con los mismos factores, es decir, no todos cuentan con calefacción, refrigeración u ordenadores por lo que no pueden obtener ganancias por su parte.

Los elementos analizados en esta figura tienen la siguiente leyenda:

“**Ilum.**”: Ganancia de calor debido a la iluminación general.

“**Ocup.**”: Ganancias sensibles debido a los ocupantes.

“**Comp.**”: Ganancia de calor debido a computadoras y aparatos relacionados.

“**Ventanas**”: Transmisión de radiación solar de onda corta a través de las ventanas exteriores.

“**Vent. Int.**”: Radiación solar total directa + difusa transmitida a través de ventanas interiores.

“**Calent.**”: Efecto de calentamiento sensible en la zona mediante el aire introducido en ella por el sistema de HVAC.

“**Enfr.**”: Efecto de enfriamiento sensible en la zona mediante el aire introducido en ella por el sistema de HVAC.

En siguiente lugar, aparecen dos gráficas más que abordan el comportamiento de la totalidad de los elementos de cada estancia, estas gráficas tienen los sufijos “I” y “V” que significan que es el comportamiento de la estancia en invierno para “I” y verano para “V”.

Los elementos analizados en estas figuras tienen la siguiente leyenda:

“**Acrystal.**”: El flujo total de calor hacia la zona proveniente del vidrio, marcos y divisores del acristalamiento exterior, excluyendo la radiación de onda corta transmitida.

“**Muros**”: Ganancia de calor a través de los muros exteriores, incluyendo el efecto de la radiación solar y la radiación de onda larga proveniente del cielo.

“**Cubier.**”: Ganancia de calor a través de las cubiertas exteriores, incluyendo el efecto de la radiación solar y la radiación de onda larga proveniente del cielo.

“**Techos**”: Ganancia de calor a través de los techos.

“**Suelos**”: Ganancia de calor a través de los suelos interiores.

“**Suelos Ext.**”: Ganancia de calor a través de los suelos exteriores.

“**Part.**”: Ganancia de calor a través de los muros interiores, particiones.

“**Inf. Ext.**”: Ganancia de calor debido a la infiltración de aire exterior (ventilación no controlada a través de grietas y poros en la envolvente del edificio).

“**Vent. Ext.**”: Ganancia de calor debido al ingreso de aire exterior por medio de la ventilación natural.

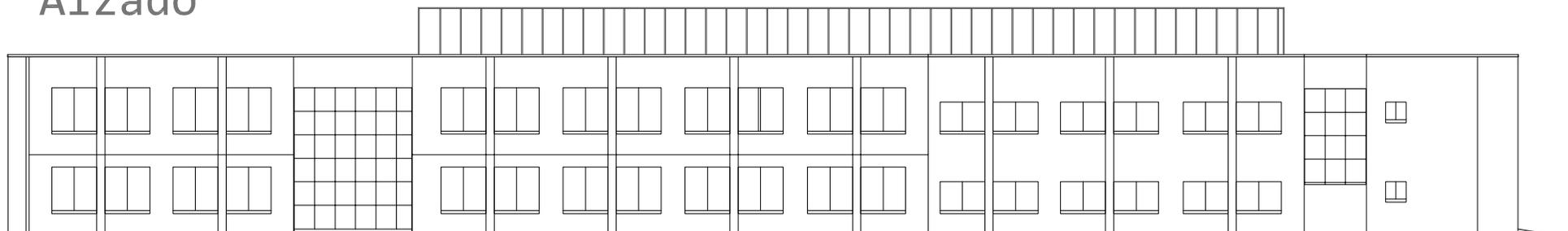
Al final de cada conjunto de estancias con el mismo uso, se procede a hacer una comparativa entre las mismas para dar explicación a las diferencias en pérdidas de unas estancias a otras. Además se compara las ganancias por calefacción y de refrigeración en las estancias que las hubiere con el objetivo de establecer los emplazamientos dentro del edificio que menos energía demandan. Por otro lado, existen conjuntos de estancias que no cuentan con calefacción ni refrigeración, por lo que para la comparativa se usa las ganancias solares aportadas a la estancia, al ser este el siguiente valor más significativo de las ganancias internas.

- **Edificio:**

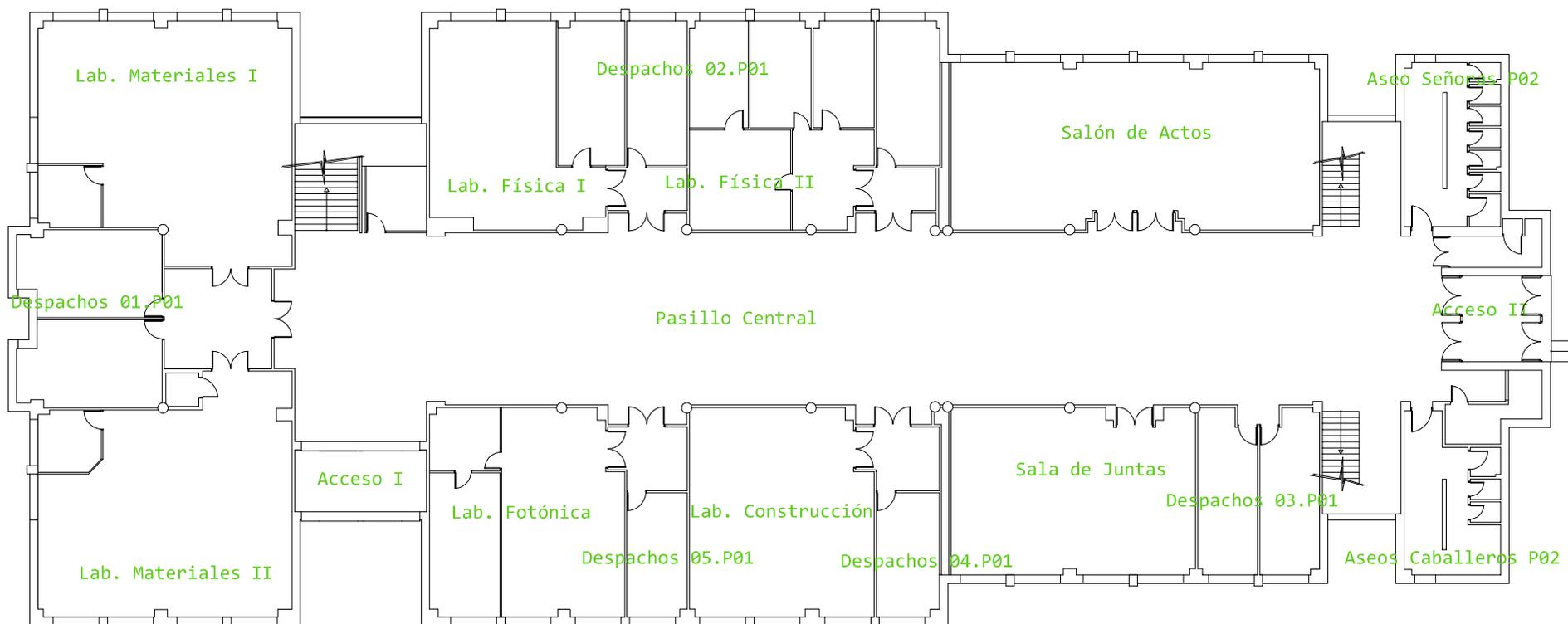
En este último punto se abordan los resultados totales del edificio, en primer lugar analizándose la diferencia existente entre plantas ya que se prevén grandes discrepancias, siguiendo el análisis del edificio en su conjunto. Para ello se estudian las demandas totales, consumos totales y emisiones de CO₂.



Alzado

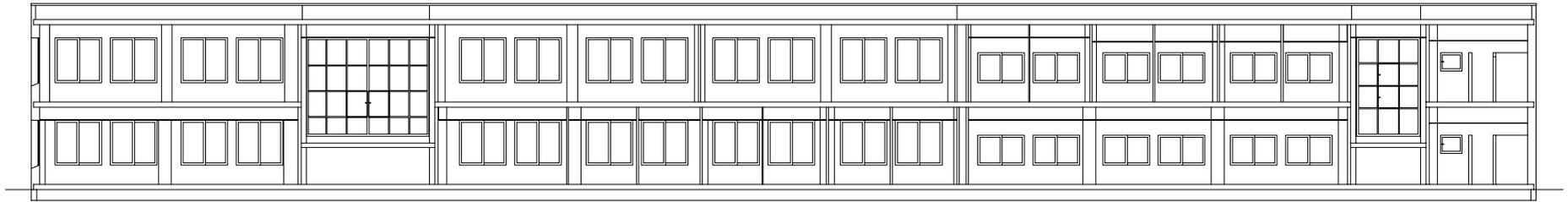


Planta Primera





Sección



Planta Segunda

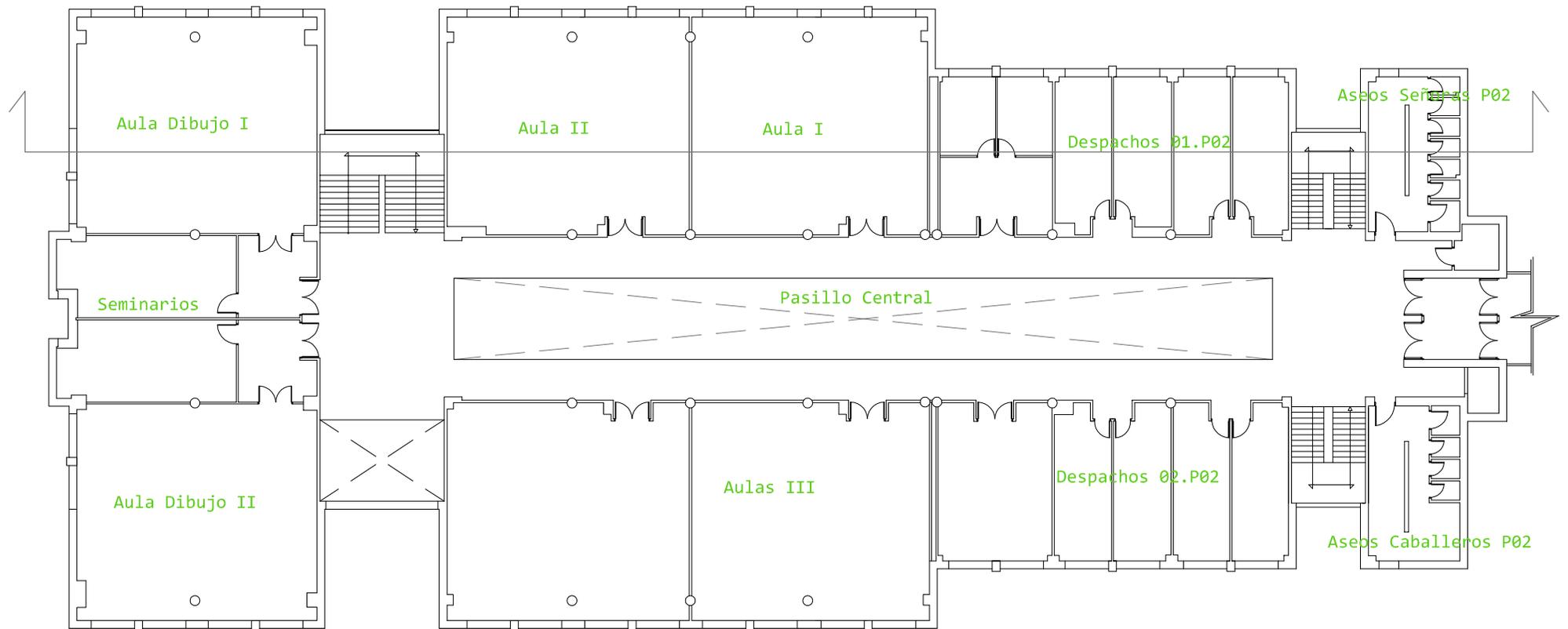




Figura 9: Condiciones exteriores de Cáceres.

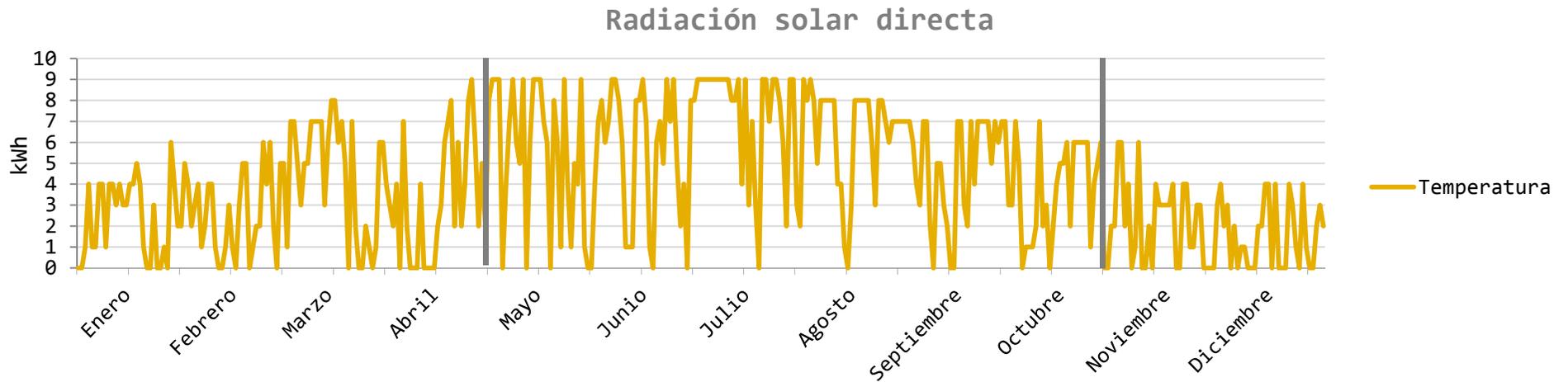


Figura 10: Radiación solar directa de Cáceres.

Para el mejor entendimiento de los resultados que a continuación se exponen, se cree necesario un rápido análisis de las tres variables que más relevancia tienen en este proyecto, la temperatura y humedad, y la radiación solar de la ciudad de Cáceres. Además cabe recalcar que las líneas verticales delimitan los periodos de invierno-verano considerados para los resultados. En la Figura 9 se puede apreciar la temperatura y humedad a lo largo del año de Cáceres. El clima de la ciudad es continental suavizado por el Atlántico debido a su gran proximidad. Como se observa en la gráfica anterior los inviernos suelen ser suaves no encontrándose temperaturas medias que bajen de los 5°C, lo cual se debe a la escasa altitud de la zona y a su situación al suroeste de la península ibérica, mientras que sí que son húmedos rondando unos valores del 70%. En el otro extremo se encuentra el periodo veraniego que suele alcanzar altas temperaturas, la temperatura media es de 26°C y ser seco con humedades en torno al 40%. En la Figura 10 por otro lado, se observa unas radiaciones solares directas que en el período de invierno durante el día no suele bajar de los 4 kWh, mientras que en verano llega a alcanzar los 9 kWh, siendo el mes de julio el más radiación recibe.

- Enero
- Febrero
- Marzo
- Abril
- Mayo
- Junio
- Julio
- Agosto
- Septiembre
- Octubre
- Noviembre
- Diciembre

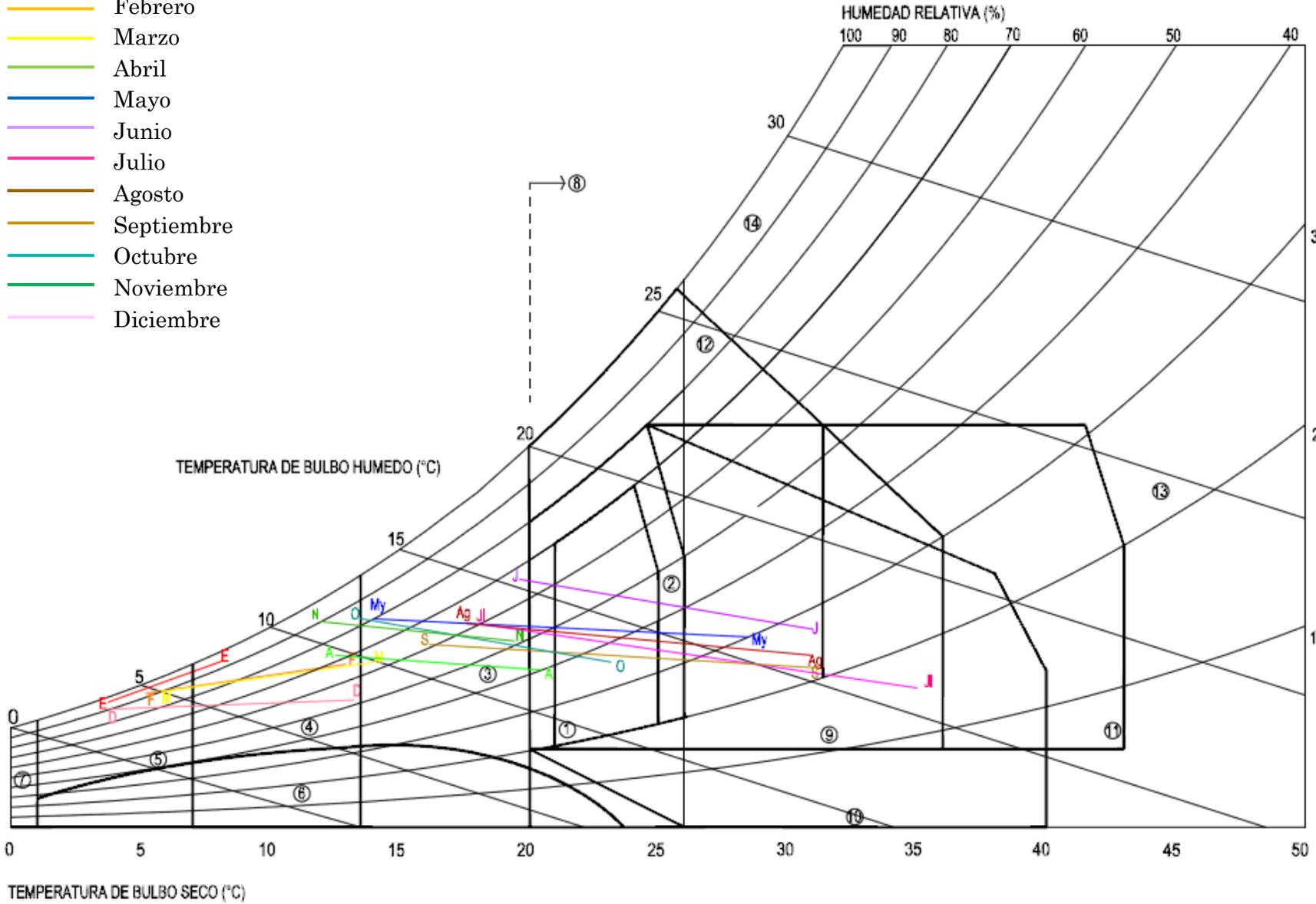


Figura 11: Diagrama de Givoni de Cáceres.

Para conocer de forma adecuada como repercute la temperatura a la hora de alcanzar el confort en el interior del edificio, se expone en la Figura 11 el diagrama psicométrico de Givoni.

Existe la necesidad de contar con **calefacción solar activa** para las noches de los meses de Enero, Febrero, Marzo y Diciembre. Para llegar al confort en estos meses necesitamos elementos captadores que pueden ser mecanismos activos independientes de alto rendimiento o mecanismos que aumenten el rendimiento de la captación pasiva.

Se puede conseguir un estado de confort mediante **sistemas pasivos** en las horas medias diurnas de los meses anteriores y las noches de los meses de Abril y Noviembre. Para conseguirlo es indispensable el concepto de conservación, intentando mantener en el interior el calor que se ha acumulado durante todo el día y no dejarlo escapar cuando cese la radiación solar. Existen tres sistemas de esta manera de aprovechamiento solar:

Directo: que son aquellos en los que la estancia se calienta mediante la acción directa de los rayos solares. En los que influye:

- Las características del hueco: orientación, tamaño, posición relativa en la habitación, proporción hueco/macizo en toda el cerramiento.
- Las características de la carpintería.
- Las características del vidrio.

Indirecto: que son aquellos en los que la radiación solar incide primero en una masa térmica que está situada entre el sol y el ambiente a calentar. En este sistema influye:

- Parámetros cuantitativos: la densidad, el calor específico, el número de capas y su espesor, y la inercia.
- Parámetros cualitativos: el tipo de acabado y el color del mismo y orden de las capas en función del flujo de calor.

Independientes: que son aquellos en los cuales el sistema de captación solar y el almacenamiento térmico están separados del espacio habitable. Existen dos tipos, termosifón y caja solar-invernadero.

Se alcanzan condiciones de confort por **ganancias internas** en las horas centrales de Abril, Mayo, Octubre y Noviembre. Estas ganancias son las aportadas por:

- La irradiación producida por las propias personas a los cuerpos de su alrededor, siempre y cuando la temperatura de éstos sea menor.
- El calor metabólico disipado por la actividad corporal de las personas, siendo mayor cuanto mayor sea la actividad.
- Los equipos eléctricos disipan calor durante su funcionamiento.

En la **zona de confort** aparecen las horas centrales de Octubre.

Se **necesita inercia** en la edificación para mantener las temperaturas durante el día en los meses de Junio, Julio, Agosto y Septiembre y durante las noches de Mayo. Esto se obtiene mediante la reducción de temperatura por el amortiguamiento de la onda térmica exterior, consiguiendo, consiguiendo que los máximos de la onda interior estén próximos a la temperatura de confort. Para solucionarlo además de los parámetros de solución, conductividad, calor específico, y densidad, existen:

- Número de capas y sus respectivos espesores
- Tipo de acabado y color del mismo.
- Posición relativa del aislamiento respecto al resto de capas.

Confort del Edificio

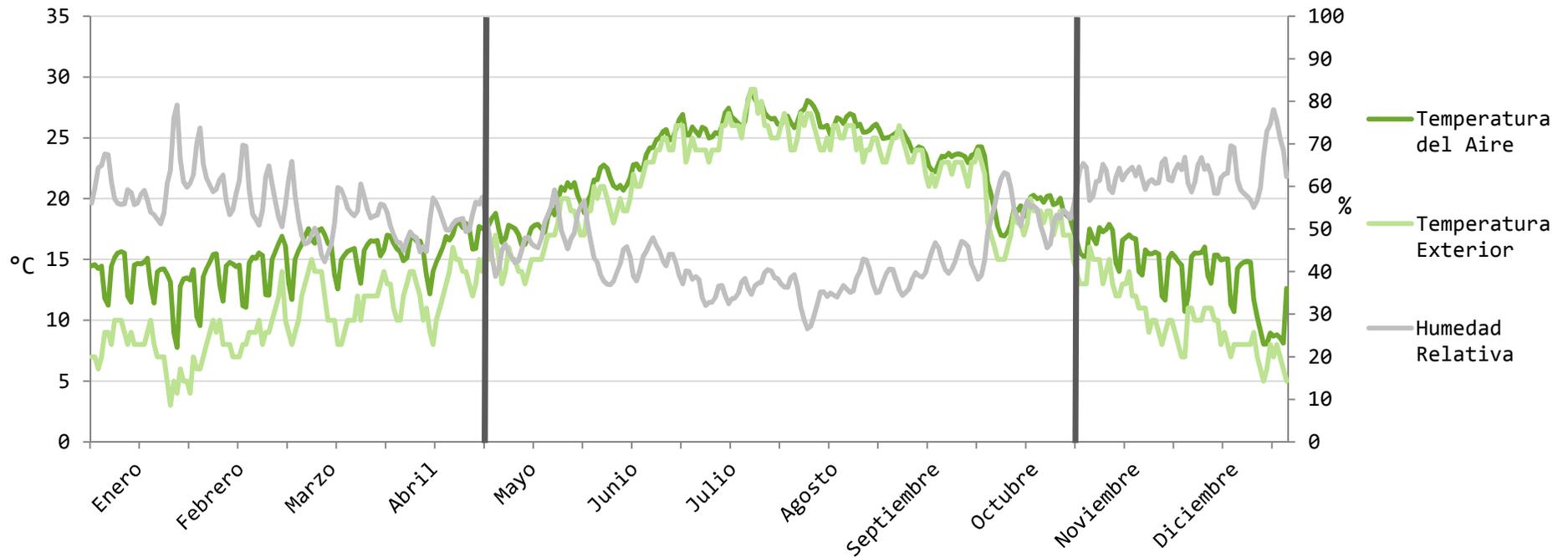


Figura 12: Confort del Edificio.

En el apartado de confort se analiza la temperatura alcanzada en el interior del edificio en comparación con las condiciones exteriores, para ver si se alcanza lo que se denomina como temperatura de confort. En la Figura 12 se aprecia como la humedad tiene el comportamiento normal encontrándose en alrededor de un 60% durante el invierno, llegando a bajar a un 40 % en verano al volverse el clima más seco.

En cuanto a las temperaturas medias se observa en invierno una mayor diferencia de temperaturas que en verano, ya que la mayoría de estancias están calefactadas y no refrigeradas, luego la media de temperaturas en invierno es más favorable que en verano. Además cabe resaltar que el mes de agosto está calculado como totalmente deshabitado y sin refrigeración ni ventilación, lo que hace que la temperatura media del edificio aumente y se vea perjudicado en este periodo. Sin embargo para tener una idea más clara de las temperaturas reales que se alcanzan en el interior, a continuación se analizarán estancias climatizadas y no climatizadas de las dos plantas para observar que diferencias se encuentran. Pero no se considera necesario analizar las temperaturas de la totalidad de las estancias ya que al estar climatizadas obligamos a que el sistema pertinente alcance la temperatura deseada, luego será igual en todas las estancias climatizadas.

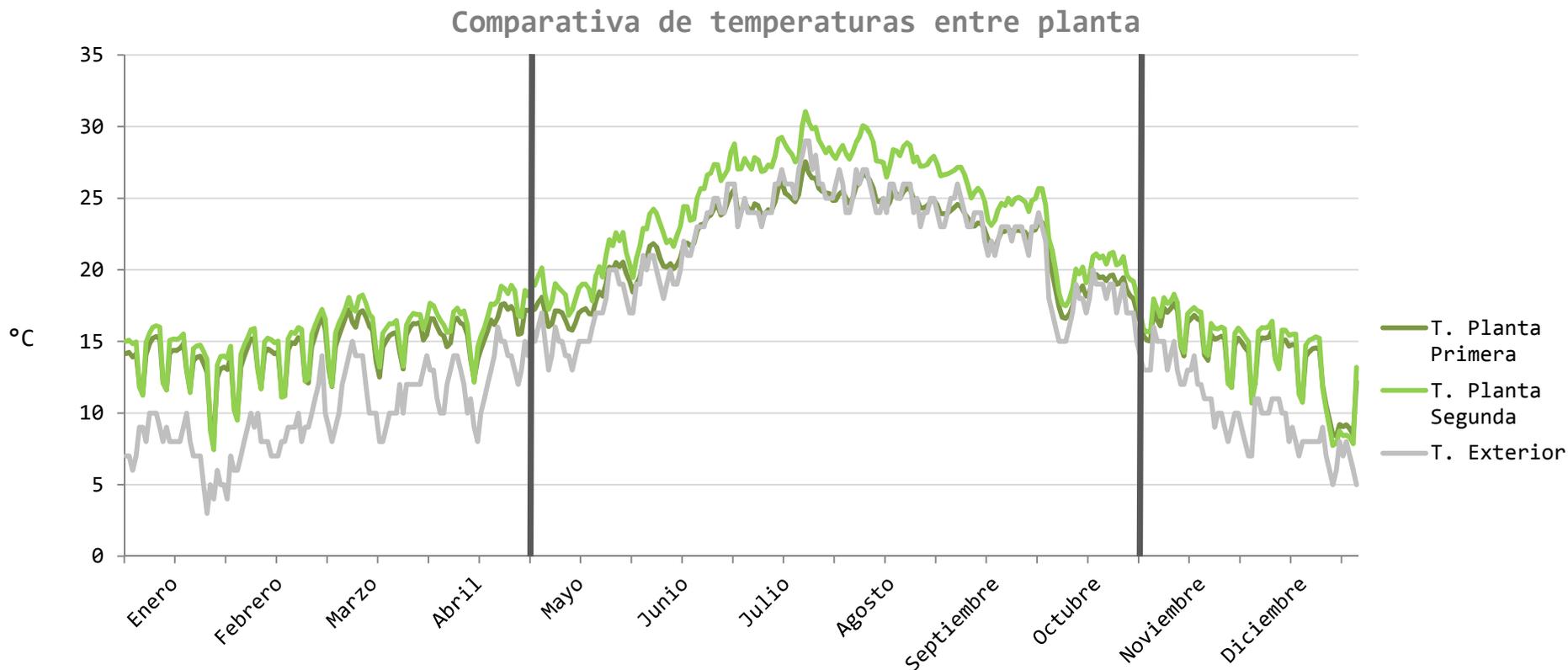


Figura 13: Comparativa de temperaturas entre plantas.

Antes del comienzo del análisis unitario de una estancia, y debido a la falta de necesidad de realizar un análisis de temperaturas de todas las estancias al alcanzarse en todas las temperaturas consignadas al sistema de climatización, se ha elaborado la Figura 13 para que se pueda comparar de forma sencilla las diferencias existentes entre las plantas primera y segunda. Se aprecia como las temperaturas son muy similares durante el invierno, encontrándose 1°C más de temperatura en la planta alta en este caso favorecido por el lucernario y ganancias de cubierta.

Las mayores diferencias se encuentran en el período de verano, incrementándose mas cuanto más alta es la temperatura exterior. Estas diferencias alcanzan en esta ocasión una diferencia media de entre 3-4°C por lo anteriormente comentado, alcanzándose temperaturas que se alejan del confort estimado para la época.

A continuación se analizarán las diferencias existentes entre estancias climatizadas y las no acondicionadas en semanas típicas de invierno y verano.

Semana típica de invierno



Figura 14: Estancia calefactada en semana de invierno.



Figura 15: Estancia no acondicionada en semana de invierno.

En este apartado se estudian las temperaturas de dos estancias que se encuentran en la planta primera, con la misma orientación y en la misma semana de invierno.

En la Figura 14 se observa claramente el comienzo de actividad del sistema de calefacción, la parada que se produce al mediodía como se indica en los apartados de funcionamiento de metodología, y de nuevo la puesta en marcha de la caldera para mantener la estancia a los 20°C consignados. Además se aprecia la inactividad del sistema durante el fin de semana dónde se llega a la misma temperatura que en la estancia no calefactada. Si se comparan estos resultados con la Figura 15, se detecta un claro descenso en las temperaturas encontrándose en situación total de desconfort no llegando a alcanzar los 15°C debido a las bajas temperaturas del exterior y ausencia de equipos de climatización. La existencia del cerramiento genera una diferencia entre el exterior y el interior en los momentos más críticos de hasta 5°C.

Semana típica de verano

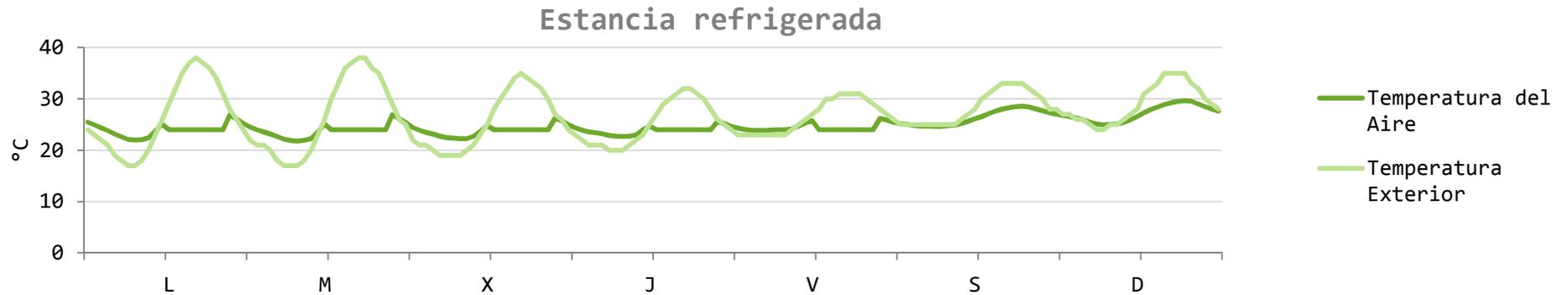


Figura 16: Estancia refrigerada en semana de verano.

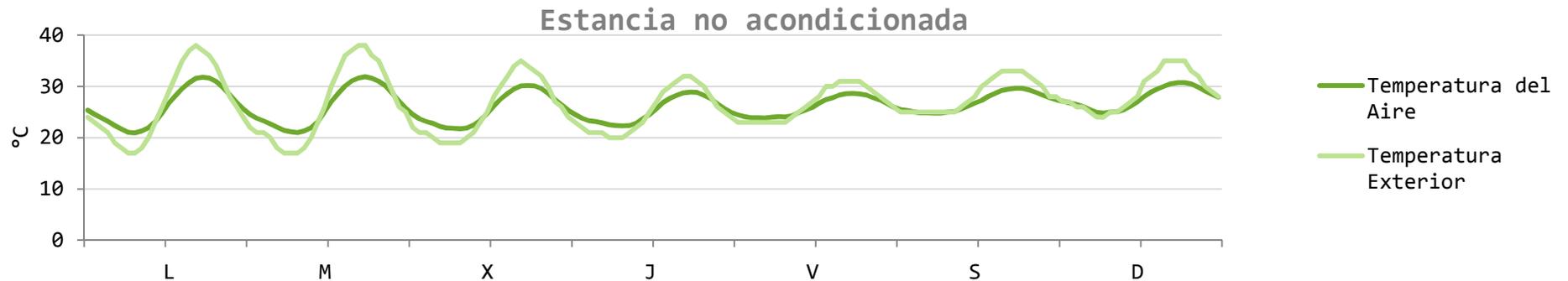


Figura 17: Estancia no acondicionada en semana de verano.

En esta ocasión se analizan dos estancias de nuevo con la misma orientación, planta y en una semana típica de verano.

La Figura 16 muestra las altas temperaturas que salvan los equipos de refrigeración para conseguir los 24°C que se han considerado como temperatura de confort para verano. En este caso como se aprecia no se considera una parada del equipo por ello la temperatura permanece constante durante el horario de funcionamiento. En adición, se advierte como las temperaturas del fin de semana son iguales a las encontradas en las estancias no acondicionadas.

Si los datos anteriores se comparan con la Figura 17, se aprecia como la inexistencia de equipos de climatización provoca que en las horas centrales del día se alcancen temperaturas inadmisibles para el uso docente ya que se consiguen temperaturas de 30°C en el interior.

Acceso I Este

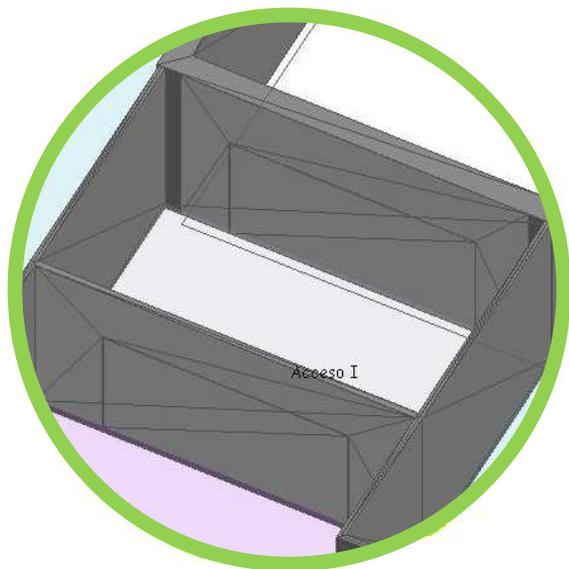


Figura 18: Acceso I.

Comportamiento-Acceso I_I

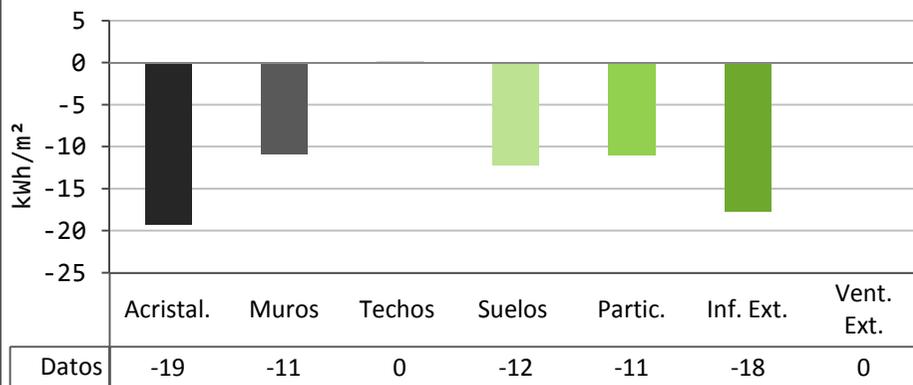


Figura 20: Comportamiento térmico en invierno de Acceso I.

Ganancias Internas-Acceso I

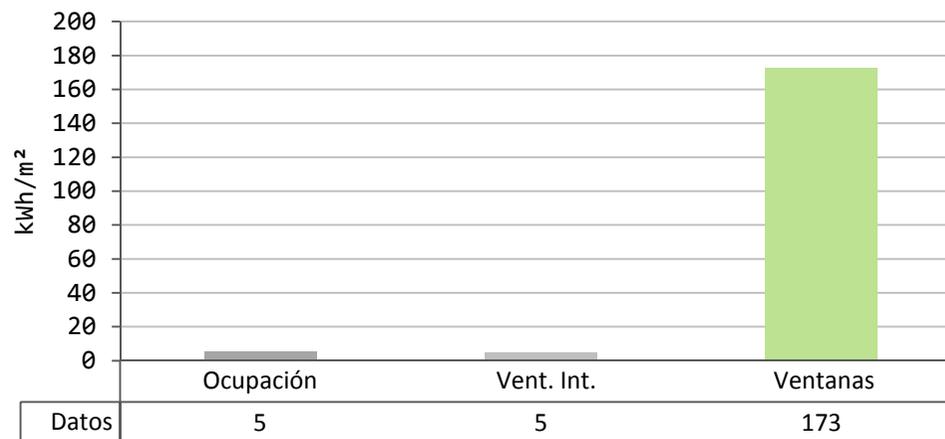


Figura 19: Ganancias internas de Acceso I.

Comportamiento-Acceso I_V

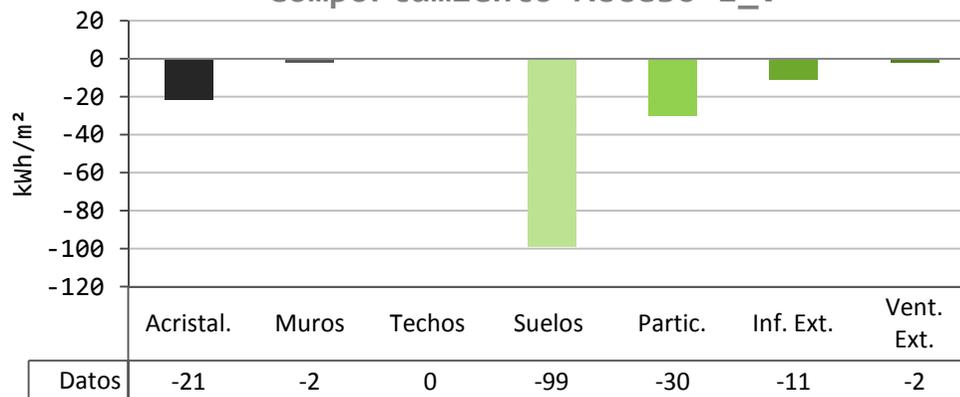


Figura 21: Comportamiento térmico en verano de Acceso I.

Los accesos son recintos que no están climatizados, por lo que el simulador no arroja los datos de demandas, sin embargo se puede observar en la Figura 19 como las mayores ganancias se obtienen por las ventanas exteriores ya que la práctica totalidad del cerramiento exterior está compuesto por un acristalamiento. En la Figura 20 donde se aprecia el comportamiento del acceso en invierno, se resaltan las penalizantes pérdidas por acristalamientos sobre el resto al ser el elemento predominante en la estancia. Si se analiza la Figura 21 llama la atención las pérdidas ofrecidas por todos los factores, esto indica que debido a las altas temperaturas alcanzadas por el efecto invernadero creado por las ventanas, se produce una transferencia de calor al resto de estancias colindantes. El comportamiento térmico final de la estancia es por tanto de **pérdidas** y del orden de **236 kWh/m²**.

Acceso II Sur

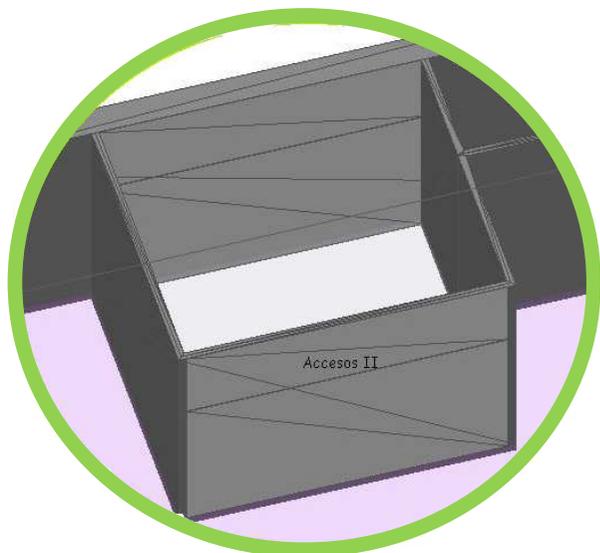


Figura 22: Acceso II.

Ganancias Internas-Acceso II

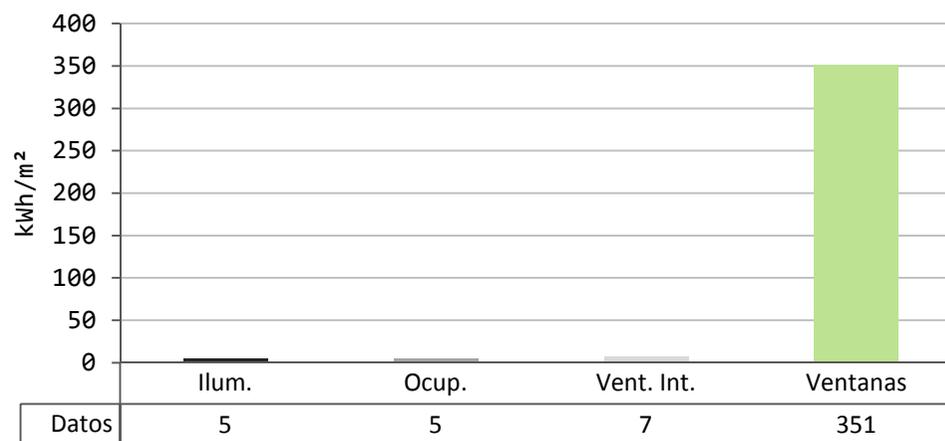


Figura 23: Ganancias internas de Acceso II.

Comportamiento-Acceso II_I

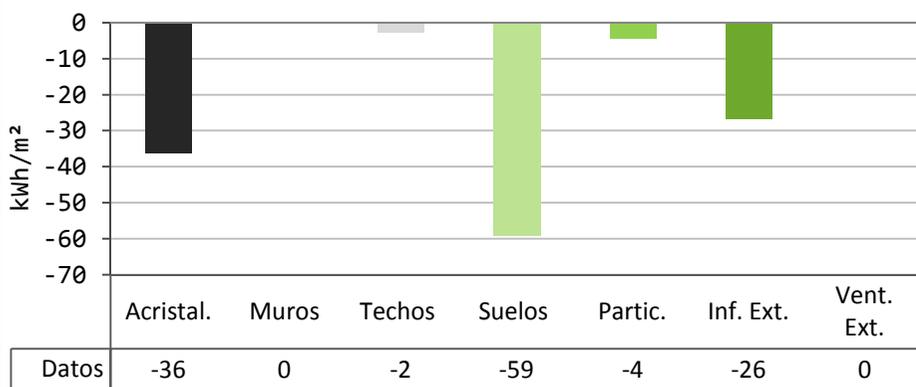


Figura 24: Comportamiento térmico en invierno de Acceso II.

Comportamiento-Acceso II_V

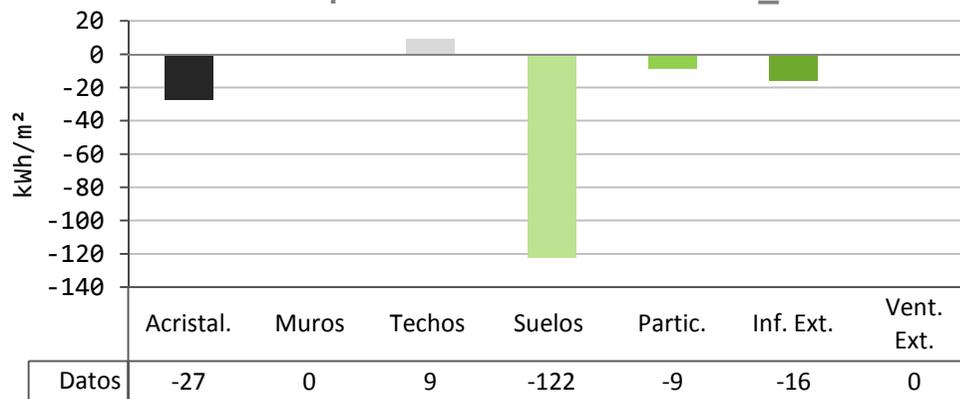
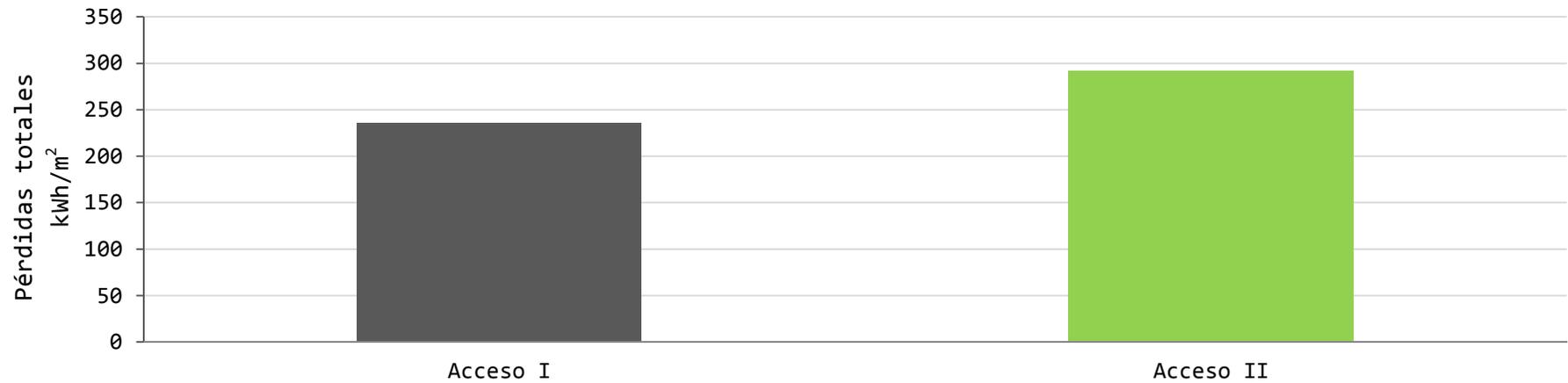


Figura 25: Comportamiento térmico en verano de Acceso II.

Este acceso tampoco cuenta con climatización, de ahí que no aparezcan las demandas de calefacción ni refrigeración, a pesar de ello este acceso cuenta con iluminación al contrario que el anterior. Si se presta atención a la Figura 623 se aprecia como las ganancias predominantes provienen de las ventanas exteriores, además estas ganancias doblan a las obtenidas en el anterior acceso gracias a que la orientación sur es la más favorable para obtener ganancias de las ventanas. En la Figura 24 se observa el comportamiento de invierno del acceso dónde las mayores pérdidas se producen en los suelos al estar en contacto con una zona no habitable y en los acristalamientos al tener una transmitancia alta. Por otro lado en la Figura 25 llama la atención de nuevo la práctica totalidad de pérdidas que ofrecen todos los elementos a excepción del techo debido a que en este caso está en contacto con la planta superior que alcanza altas temperaturas. Por último el comportamiento térmico de la estancia es de **pérdidas de 292 kWh/m²**.

Comparativa Accesos



Orientación	Este	Sur
Planta	Primera	Primera
Pérdidas Totales (kWh/m²)	236	292
Ganancia Solar (kWh/m²)	173	351

Figura 26: Comparativa comportamiento térmico de Accesos.

La característica principal de los accesos es que la práctica totalidad de su cerramiento exterior está constituido por un acristalamiento en parte fijo, en adición, estos accesos no cuentan con climatización alguna por lo que se ha considerado importante para la comparación entre ambos las ganancias solares aportadas. En la Figura 26 se aprecia como el acceso II es el que tiene mayores pérdidas provocadas en mayor medida por la cámara sanitaria, estas pérdidas no significan un peor comportamiento de este acceso ya que la mayoría de ellas se producen en verano, siendo en este caso favorables. Además el acceso II cuenta con unas ganancias solares muy superiores ya que la orientación sur es la más favorable debido a una mayor captación solar en invierno y una menor aportación solar en verano, principalmente a través de las superficies acristaladas. Por tanto es el acceso II el que en conjunto tiene un comportamiento térmico más eficiente.

Aseos Caballeros P01

Oeste

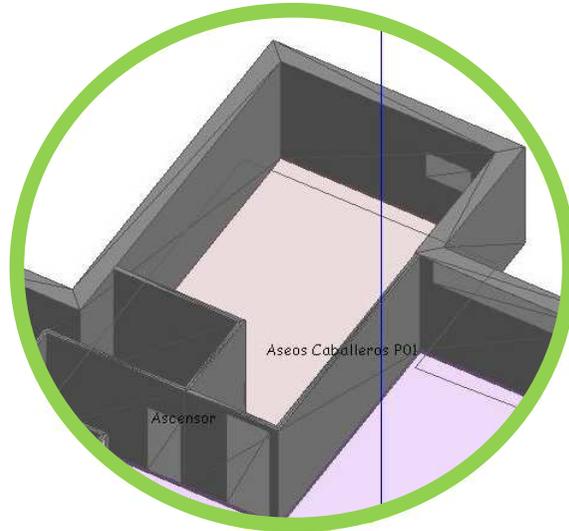


Figura 27: Aseos Caballeros P01.

Ganancias Internas-Aseos Caballeros P01

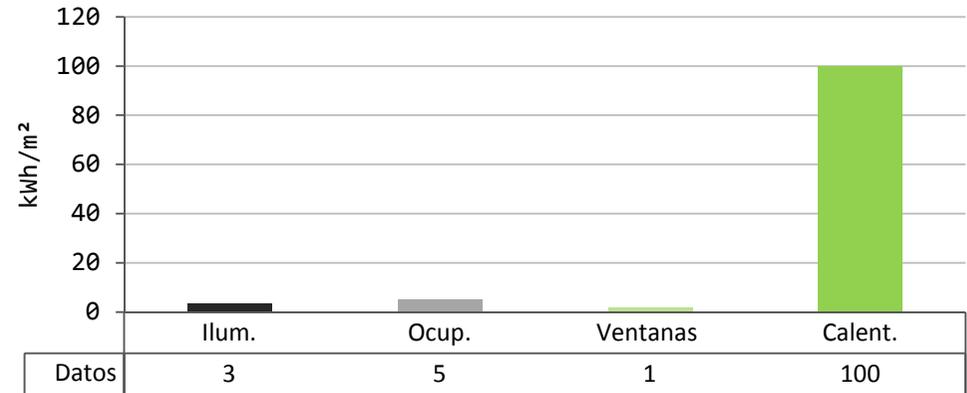


Figura 28: Ganancias internas de Aseos Caballeros P01.

Comportamiento-Aseos Caballeros P01_I

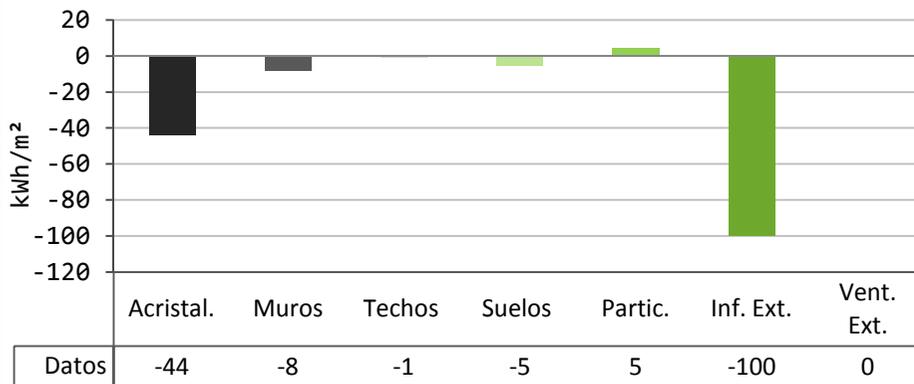


Figura 29: Comportamiento térmico en invierno de Aseos Caballeros P01.

Comportamiento-Aseos Caballeros P01_V

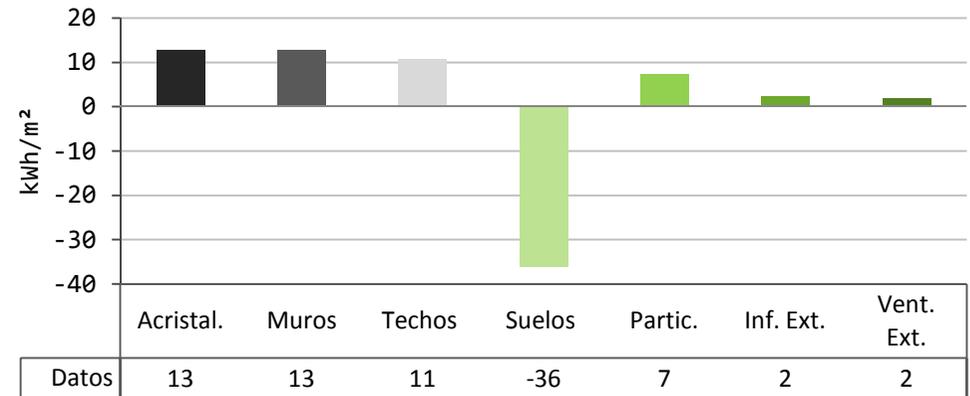


Figura 30: Comportamiento térmico en verano de Aseos Caballeros P01.

Los aseos del edificio sí que cuentan con radiadores para la calefacción de la estancia, sin embargo cuentan con una superficie acristalada muy inferior al del resto del edificio, por todo ello puede observarse en la Figura 28 como existe una alta demanda en calefacción y unas ganancias por ventanas despreciable. La Figura 29 que muestra el comportamiento del aseo en invierno muestra unas altas pérdidas provocadas por las infiltraciones necesarias en un aseo público, así como las aportadas por los acristalamientos. En la Figura 30 al contrario, existe un mayor número de ganancias provocadas principalmente por los acristalamientos y muros debido al alto soleamiento de la orientación oeste por la tarde. Además la como se muestra en la totalidad de las estancias de planta baja, la cámara sanitaria ofrece un refrescamiento. Finalmente el comportamiento final de la estancia es de unas **pérdidas de 141 kWh/m²**.

Aseos Señoras P01

Este

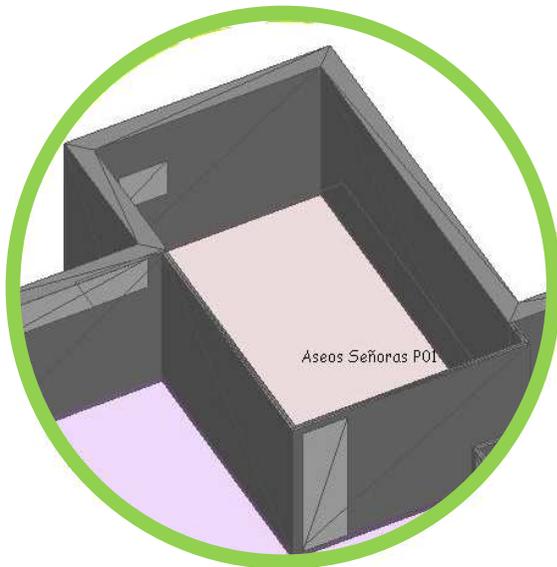


Figura 31: Aseos Señoras P01.

Comportamiento-Aseos Señoras P01_I

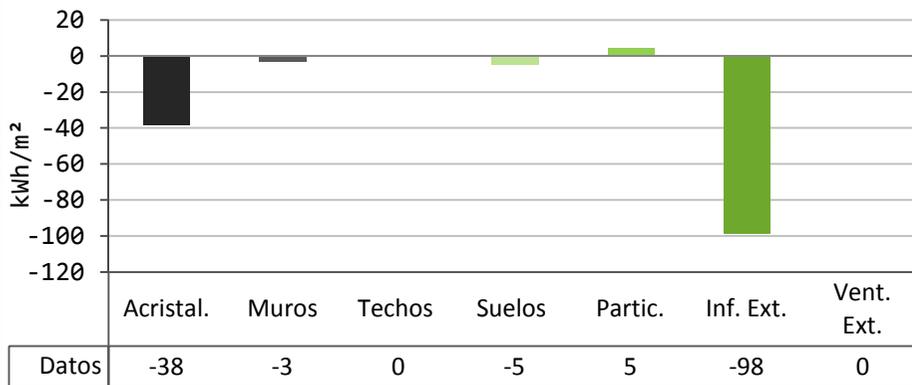


Figura 33: Comportamiento térmico en invierno de Aseos Señoras P01.

Ganancias Internas-Aseos Señoras P01

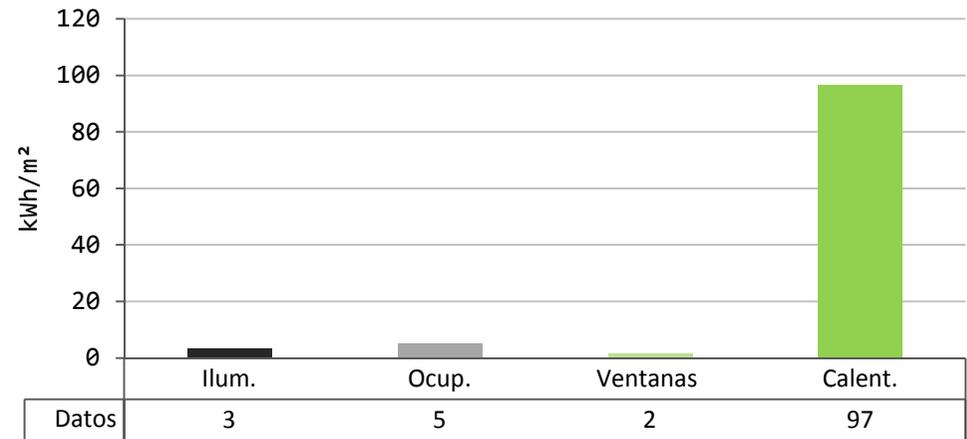


Figura 32: Ganancias internas de Aseos Señoras P01.

Comportamiento-Aseos Señoras P01_V

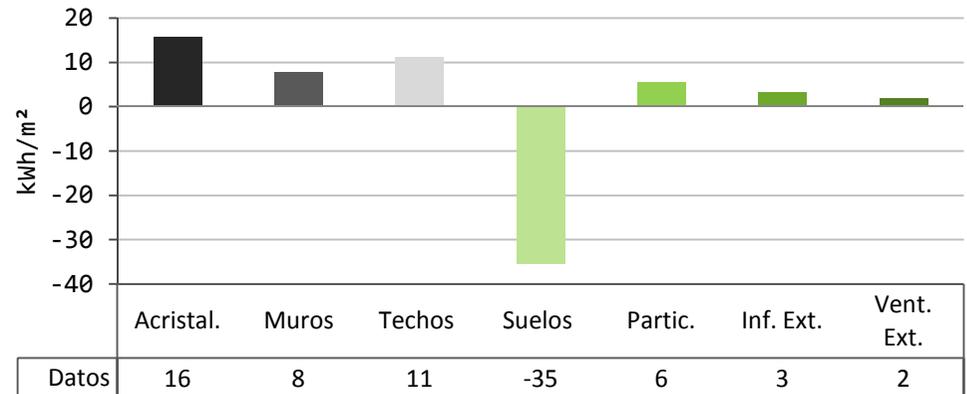


Figura 34: Comportamiento térmico en verano de Aseos Señoras P01.

En este apartado se analiza el aseo de señoras de la primera planta, que tiene unas características similares a las de caballeros pero con orientación este. En la Figura 32 se encuentran unos valores parecidos a los obtenidos en el aseo de caballeros, a pesar de ello la demanda de calefacción es ligeramente inferior en este caso. Si se analiza la Figura 33 se aprecian de nuevo una gran cantidad de pérdidas, sin embargo el único elemento que aporta ganancias son las particiones ya que las estancias colindantes están calefactadas. En verano por el contrario, puede verse en la Figura 34 como casi todos los elementos aportan ganancias, que en este caso son desfavorables para conseguir el confort en el interior. Finalmente el comportamiento anual del aseo femenino es de **pérdidas de 128 kWh/m²**.

Aseos Caballeros P02

Oeste

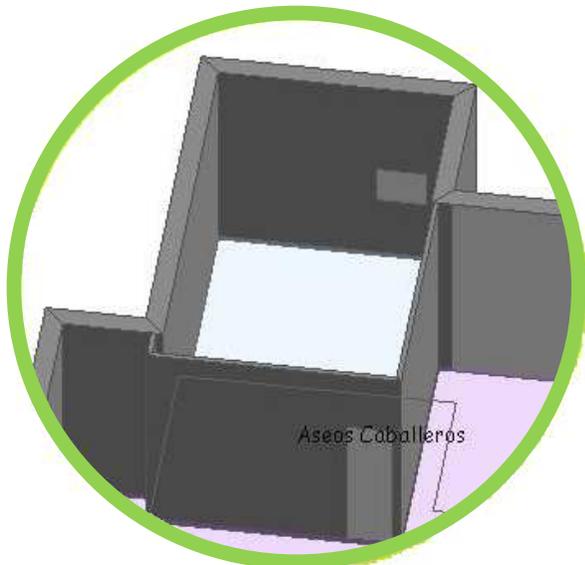


Figura 35: Aseos Caballeros P02.

Ganancias Internas-Aseos Caballeros P02

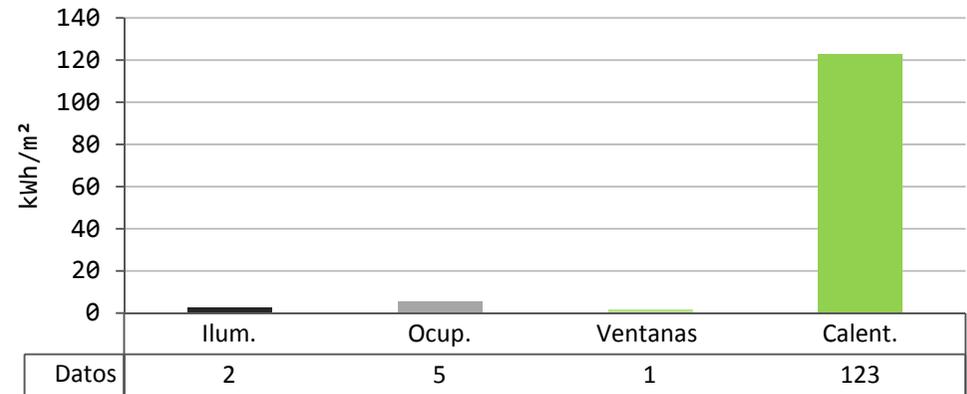


Figura 36: Ganancias internas de Aseos Caballeros P02.

Comportamiento-Aseos Caballeros P02_I

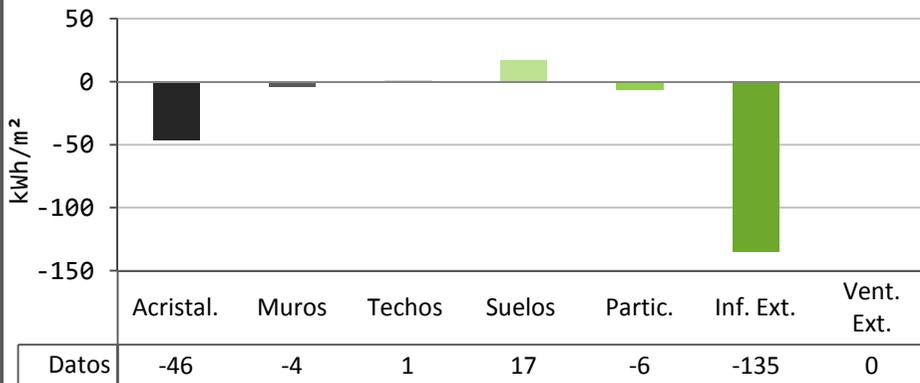


Figura 37: Comportamiento térmico en invierno de Aseos Caballeros P02.

Comportamiento-Aseos Caballeros P02_V

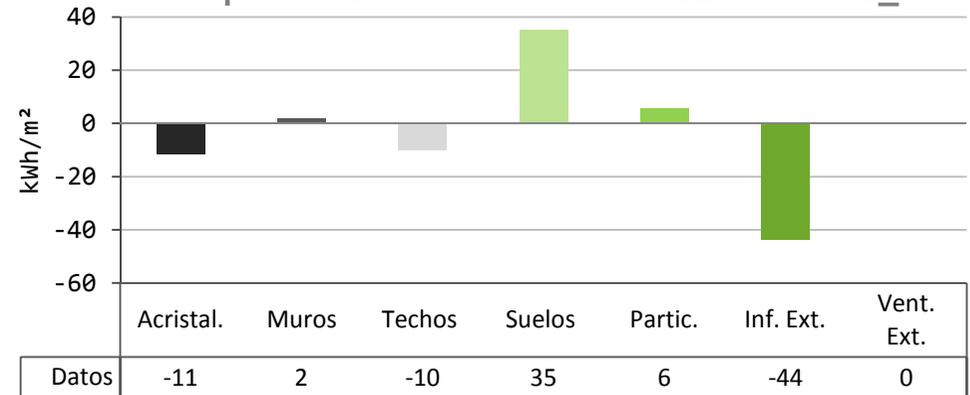


Figura 38: Comportamiento térmico en verano de Aseos Caballeros P02.

En los aseos de caballeros de la segunda planta se puede apreciar en la Figura 36 como la demanda de calefacción se ve incrementada con respecto a los anteriores debido a que la envolvente de esta estancia tiene mayor contacto con el exterior. Si se observa la Figura 37 dónde se analiza el comportamiento de los cerramientos del aseo, se ve de nuevo un claro patrón de pérdidas con las infiltraciones a la cabeza y encontrándose esta vez ganancias en los suelos por estar en contacto con el aseo inferior que cuenta con calefacción. El comportamiento de los aseos en verano se observa en la Figura 38, encontrándose las infiltraciones como uno de los factores que refrescan el ambiente provocado por las renovaciones hora establecidas por la norma, evacuándose el aire caliente por la noche. Por último el comportamiento térmico de la estancia se resume en **pérdidas de 195 kWh/m²**.

Aseos Señoras P02

Este

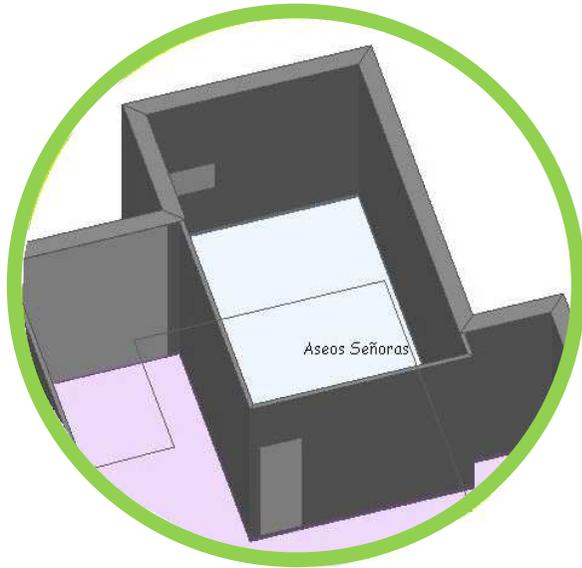


Figura 39: Aseos Señoras P02.

Comportamiento-Aseos Señoras P02_I

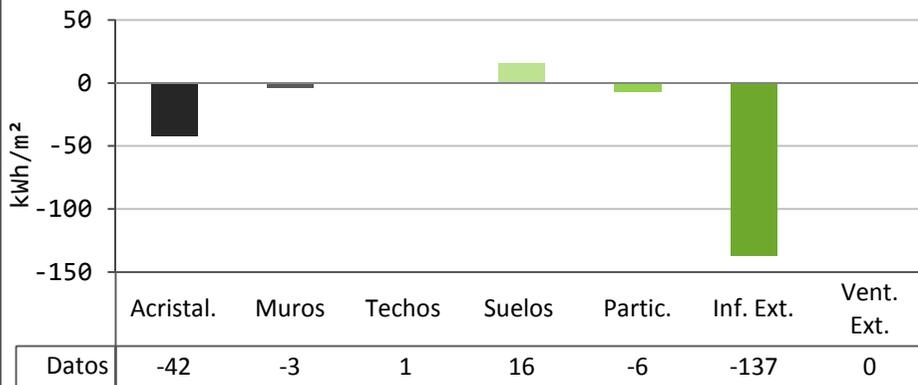


Figura 41: Comportamiento térmico en invierno de Aseos Señoras P02.

Ganancias Internas-Aseos Señoras P02

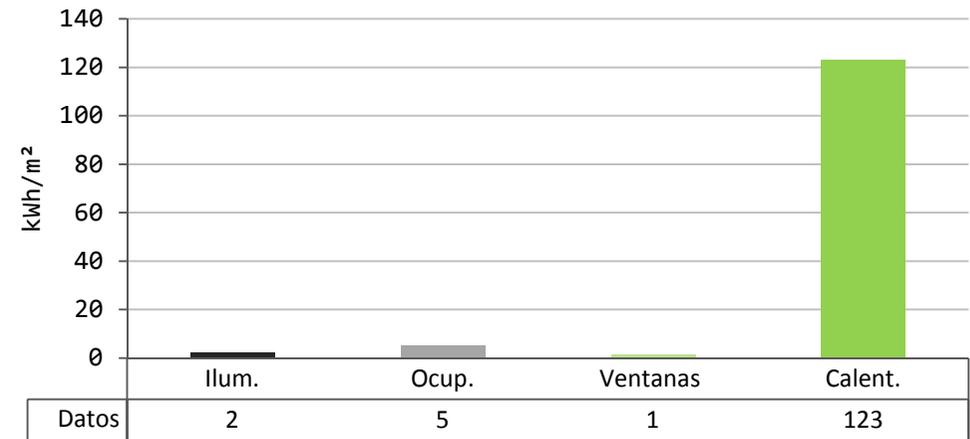


Figura 40: Ganancias internas de Aseos Señoras P02.

Comportamiento-Aseos Caballeros P02_V

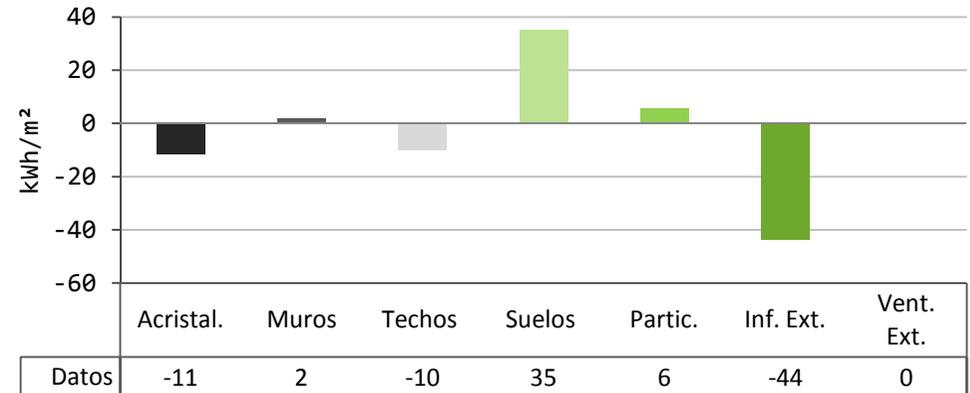
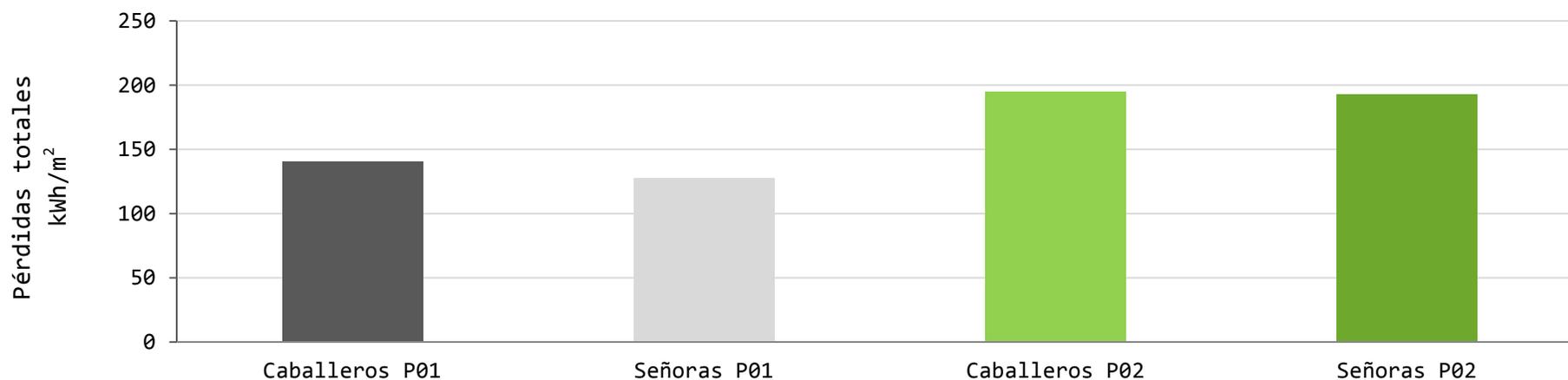


Figura 42: Comportamiento térmico en verano de Aseos Señoras P02.

En el aseo femenino de la segunda planta se puede observar en la Figura 40 como los valores de ganancias internas son bastante similares a las del aseo de caballeros de segunda planta, pero de nuevo la demanda de calefacción es ligeramente superior, probablemente por la orientación del sitio. En la Figura 41 aparecen las pérdidas de la estancia en invierno a excepción de los suelos por lo comentado en el apartado anterior y en el lado opuesto se encuentran las mayores ganancias del verano observadas en la Figura 42. El resultado final de ganancias y pérdidas arroja un comportamiento final de **pérdidas de 193 kWh/m²**.

Comparativa Aseos



Orientación	Oeste	Este	Oeste	Este
Planta	Primera	Primera	Segunda	Segunda
Pérdidas Totales (kWh/m²)	141	128	195	193
Calentamiento (kWh/m²)	100	97	123	123

Figura 43: Comparativa de comportamiento térmico de los aseos.

En este punto se comparan los cuatro aseos del pabellón de Arquitectura Técnica, los cuáles son prácticamente iguales variando su orientación y su situación en las plantas del edificio, dos en primera y dos en segunda planta. De esta manera, se puede observar en la Figura 43 las grandes diferencias encontradas en demandas y pérdidas totales entre los aseos de planta primera y los de planta segunda. Los aseos de segunda planta parecen contar con mayor número de pérdidas debido a un aumento de la envolvente en contacto con el exterior, ocasionándose por tanto un mayor número de infiltraciones. Además de no contar con estas pérdidas, los aseos de primera planta ven incrementadas sus ganancias al contar con una planta segunda calefactada sobre ellos. Por otro lado si se presta atención a los aseos de primera planta se observan mayores diferencias entre los mismo que entre los de segunda planta, esto puede deberse a que el aseo de caballeros se encuentra situado al lado de una sala de instalaciones no calefactada ocasionándole mayores pérdidas y por tanto mayor demanda. Finalmente las orientaciones no parecen tener gran relevancia en este apartado debido a la escasa superficie acristalada hallada.

Despacho 01.P01

Norte

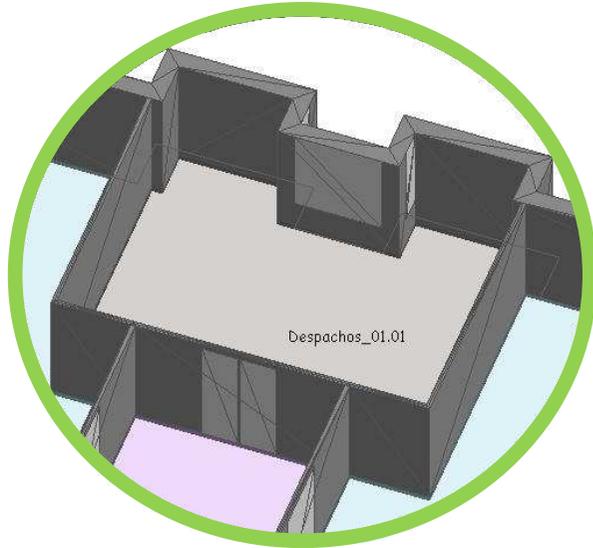


Figura 44: Despachos 01.P01.

Comportamiento-Despacho 01.P01_I

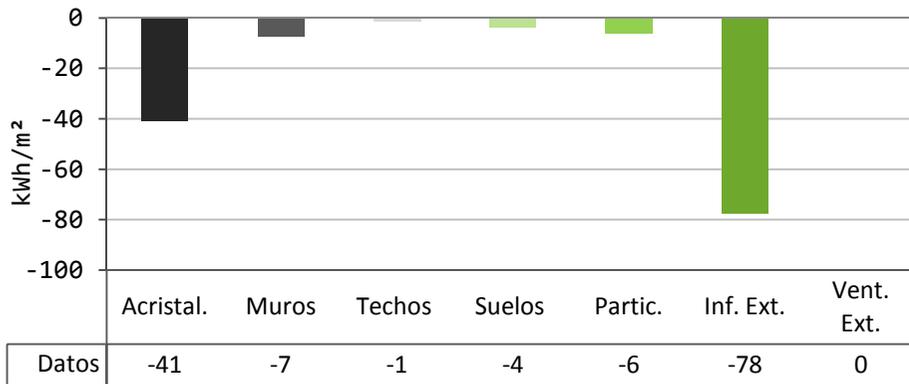


Figura 46: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 01.P01.

Ganancias Internas-Despacho 01.P01

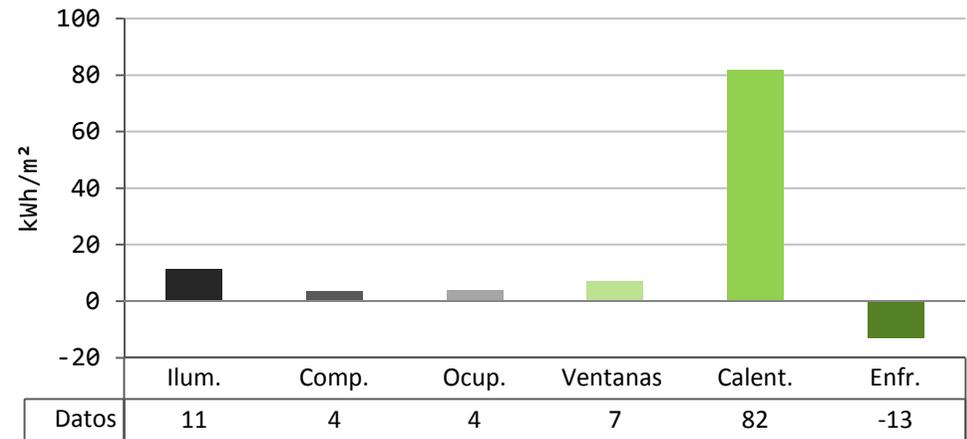


Figura 45: Ganancias internas de los Despachos 01.P01.

Comportamiento-Despacho 01.P01_V

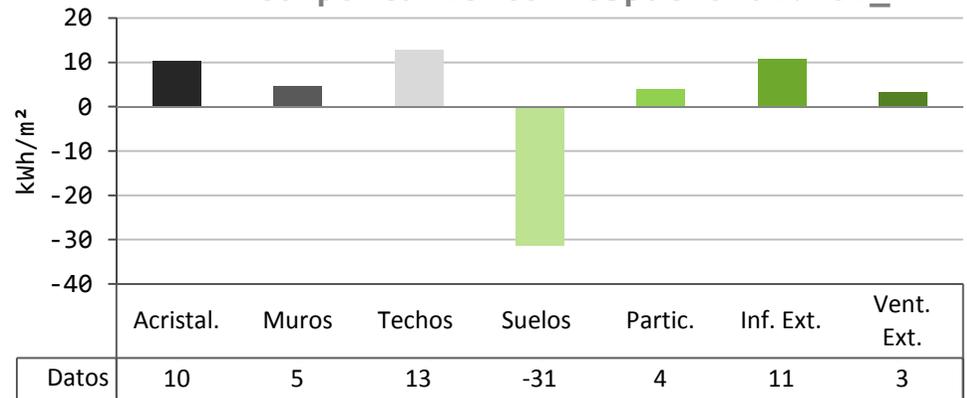


Figura 47: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 01.P01.

En la Figura 45 se observa unos mínimos aportes de la ocupación y ordenadores debido al bajo uso de los despachos por lo que se hace necesario un aporte de calor en invierno que se encuentra en torno a los 80 kWh/m². Por último la demanda de refrigeración no alcanza los 20 kWh/m² gracias a las renovaciones/hora previstas en despachos y a la orientación en la que se encuentra. De la Figura 46 que cuenta el comportamiento el despacho en invierno, se desprende unas grandes pérdidas en invierno debido a las infiltraciones del exterior por las bajas temperaturas, también se observan mayores pérdidas de los acristalamientos debido al puente térmico creado por los mismos. Por otro lado en la Figura 47 destacan las pérdidas, en este caso favorables, procedentes de la cámara sanitaria que se encuentra debajo. Por último resaltar que el comportamiento térmico final del despacho es de **pérdidas de 122 kWh/m²**.

Despacho 02.P01

Oeste

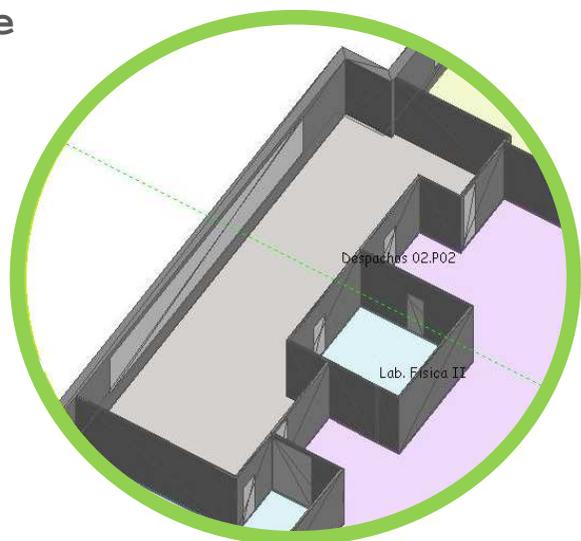


Figura 48: Despachos 02.P01.

Comportamiento-Despacho 02.P01_I

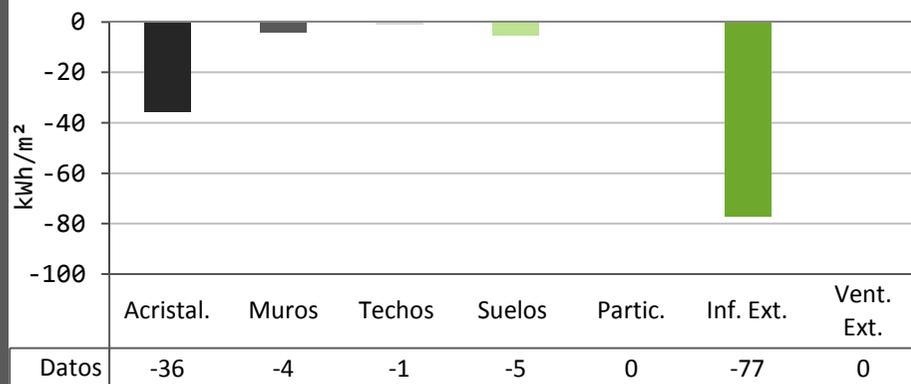


Figura 50: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 02.P01.

Ganancias Internas-Despachos 02.P01

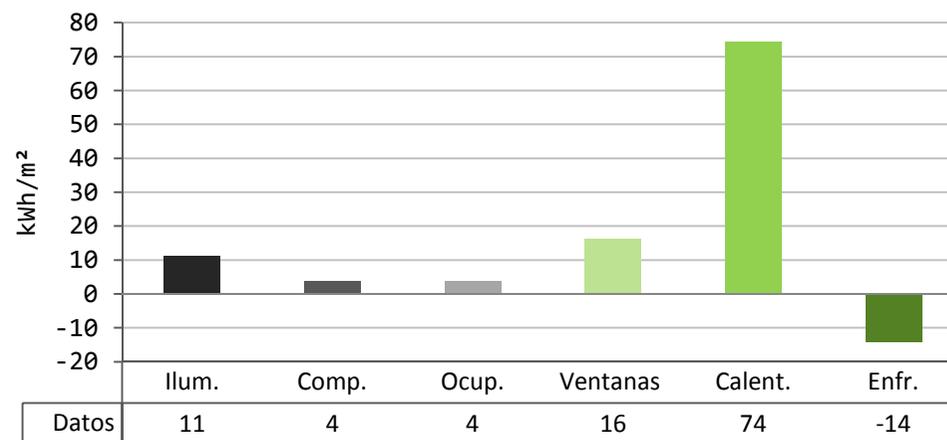


Figura 49: Ganancias internas de los Despachos 02.P01.

Comportamiento-Despacho 02.P01_V

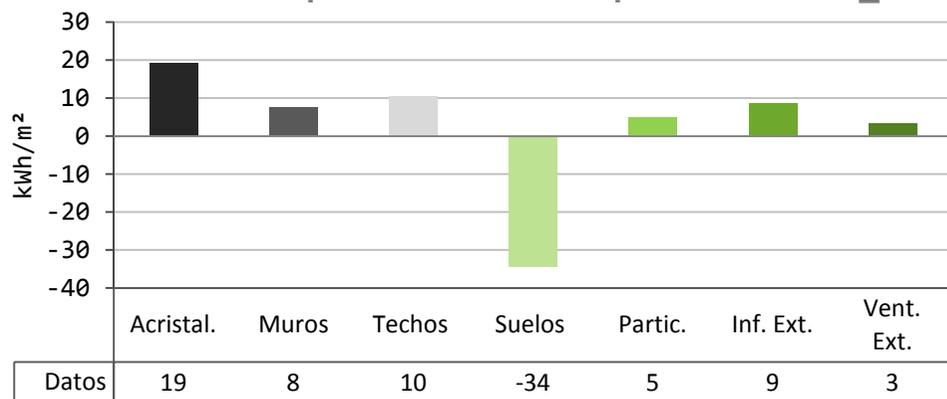


Figura 51: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 02.P01.

En el conjunto de despachos analizados en esta página, se observa en la Figura 49 como la demanda de calefacción se encuentra esta vez en torno a los 70 kWh/m² probablemente por las mayores ganancias conseguidas por las ventanas orientadas al oeste. En cuanto a la Figura 50, se puede apreciar como el comportamiento térmico de los despachos en invierno revela unas grandes pérdidas por acristalamientos e infiltraciones por lo comentado en la página anterior. En la Figura 51, por el contrario, al ser el período de verano, todo son ganancias, teniendo gran relevancia las aportadas por los acristalamientos debido a la gran superficie encontrada en estos despachos y a la orientación de los mismos. Además es necesario comentar el papel refrescante que aporta la cámara sanitaria. Finalmente el comportamiento térmico anual de este conjunto de despachos es de **pérdidas** ligeramente inferiores al anterior **103 kWh/m²**.

Despacho 03.P01

Este

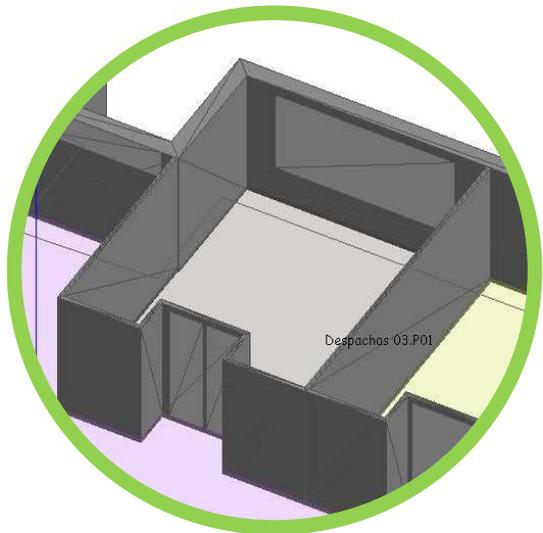


Figura 52: Despachos 03.P01.

Comportamiento-Despacho 03.P01_I

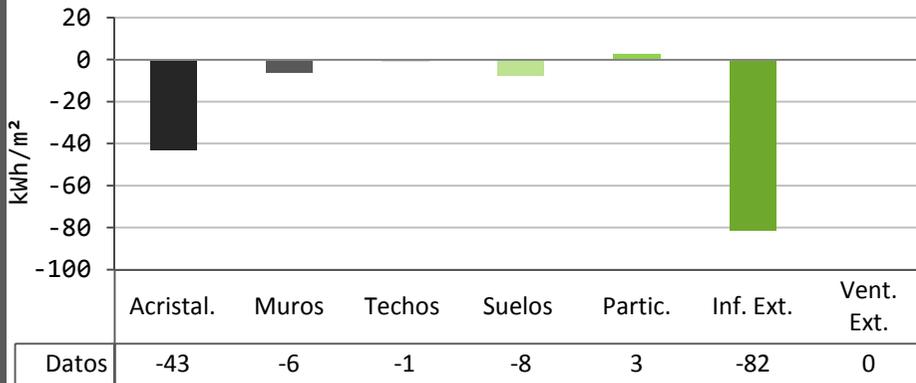


Figura 54: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 03.P01.

Ganancias Internas-Despachos 03.P01

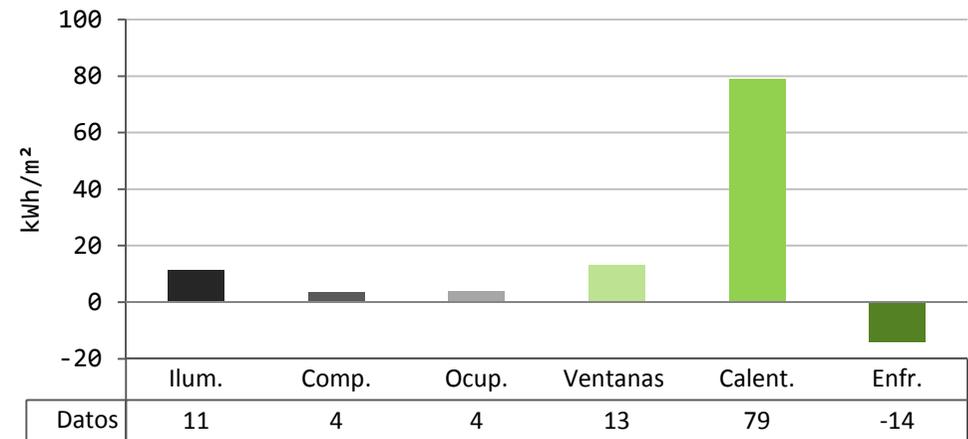


Figura 53: Ganancias internas de los Despachos 03.P01.

Comportamiento-Despacho 03.P01_V

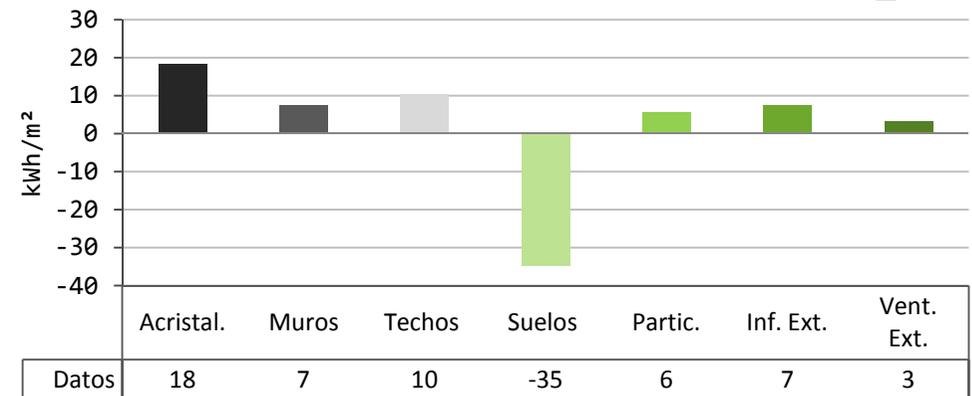


Figura 55: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 03.P01.

En los dos despachos que se analizan en este apartado se observa en la Figura 53 un valor intermedio en la demanda de calefacción a la encontrada en el resto de orientaciones, al igual que lo que ocurre con las ganancias por ventanas. En la Figura 54 se aprecia de nuevo como casi todos los elementos generan pérdidas tomando gran importancia las aportadas por las infiltraciones y los acristalamientos, sin embargo por primera vez las particiones generan ganancias debido a que los recintos que rodean a estos despachos están calefactados. Si se presta atención a la Figura 55 parece que los despachos se comportan de una similar a los analizados con anterioridad consiguiéndose beneficios con la cámara sanitaria en esta época y aportes de calor debidos en gran medida debidos a los acristalamientos. El comportamiento térmico final de este conjunto de despachos es de **pérdidas** de en torno **121 kWh/m²**.

Despacho 04.P01

Este

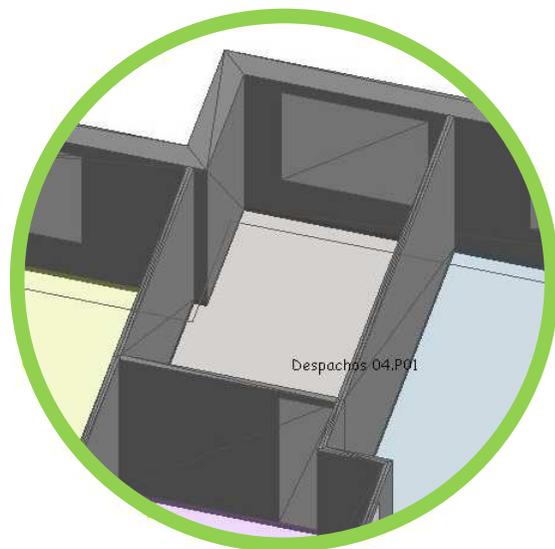


Figura 56: Despachos 04.P01.

Comportamiento-Despacho 04.P01_I

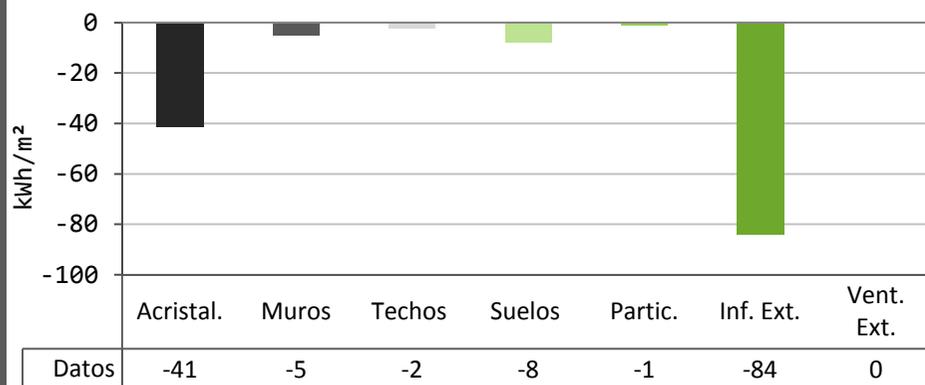


Figura 58: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 04.P01.

Ganancias Internas-Despachos 04.P01

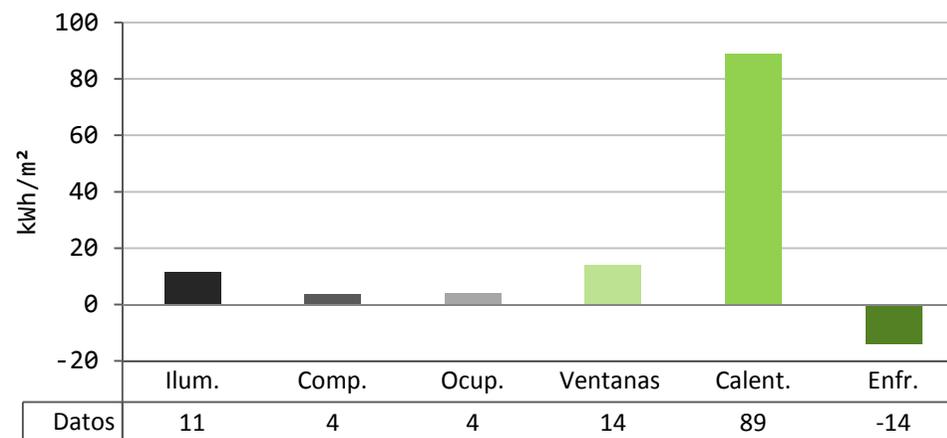


Figura 57: Ganancias internas de los Despachos 04.P01.

Comportamiento-Despacho 04.P01_V

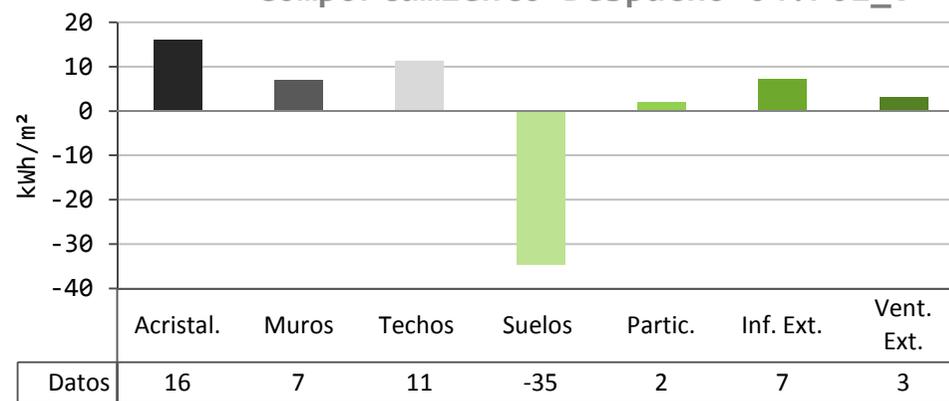


Figura 59: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 04.P01.

En el análisis de este despacho orientado de nuevo al este, se puede apreciar en la Figura 57 como la demanda de calefacción aumenta en gran medida hasta llegar casi a los 90 kWh/m². Las ganancias obtenidas por iluminación, ordenadores, ocupación y ventanas es igual a las del resto debido a la inserción de los mismos valores que en el resto el mismo uso. Si se observa la Figura 58 se observa de nuevo unas grandes pérdidas ocasionadas por las infiltraciones que siguen las indicadas por la norma. Por otro lado en la Figura 59 se encuentran valores similares a los anteriores aunque con ganancias inferiores en acristalamientos que los despachos al oeste por la orientación. Los techos de nuevo aportan ganancias en verano debido a las mayores temperaturas alcanzadas en el segundo piso. Finalmente el comportamiento térmico de este despacho es peor que los analizados con anterioridad con unas **pérdidas de 130 kWh/m²**.

Despacho 05.P01

Este

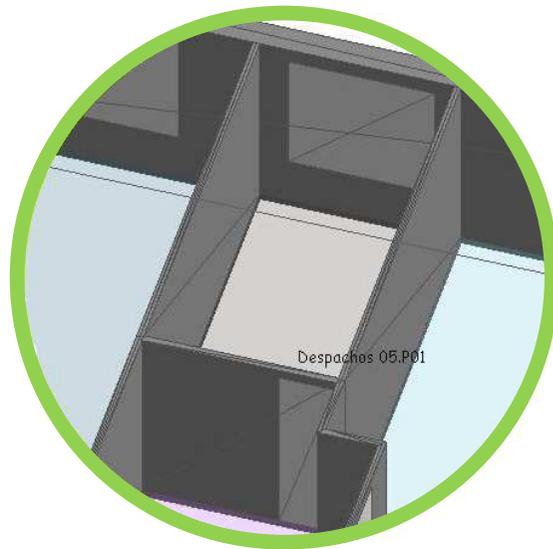


Figura 60: Despachos 05.P01.

Comportamiento-Despacho 05.P01_I

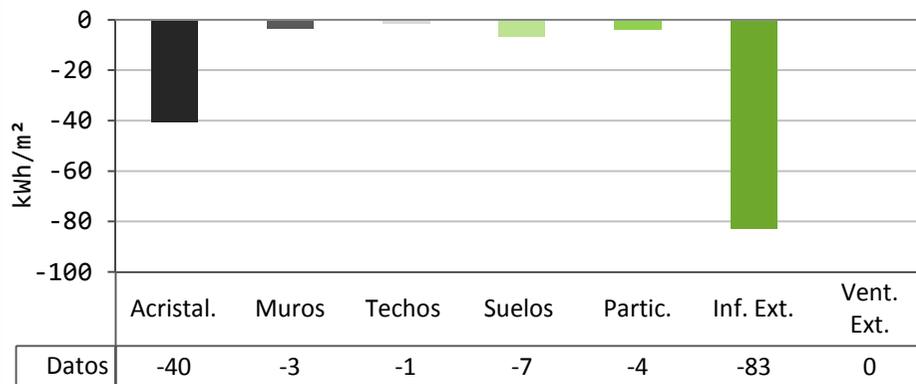


Figura 62: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 05.P01.

Ganancias Internas-Despachos 05.P01

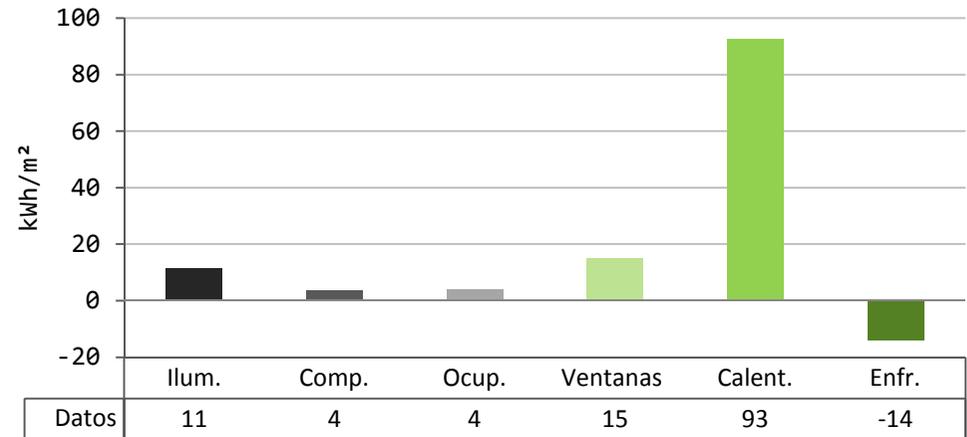


Figura 61: Ganancias internas de los Despachos 05.P01.

Comportamiento-Despacho 05.P01_V

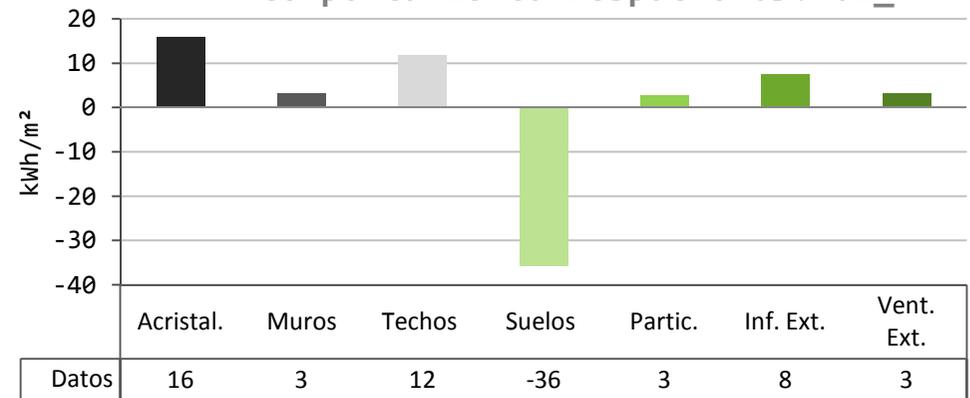


Figura 63: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 05.P01.

En este apartado de nuevo se analiza un despacho con orientación este, dónde se observa en la Figura 61 como la demanda de calefacción tiene unos niveles altos necesarios para calefactar la zona debido a las mayores pérdidas que a continuación se comentan. En la Figura 62 se aprecia un comportamiento en invierno dónde como siempre las infiltraciones y los acristalamientos son los factores que más penalizan la sala. En verano se desprende de la Figura 63 las ganancias obtenidas por casi todos los elementos, destacando sobre el resto los acristalamientos que obtienen las ganancias solares matutinas y la procedente de los techos favorecida por las mayores temperaturas alcanzadas en el piso superior. En cuanto a las **pérdidas** finales se sitúan en torno a **129 kWh/m²**.

Despacho 01.P02

Este

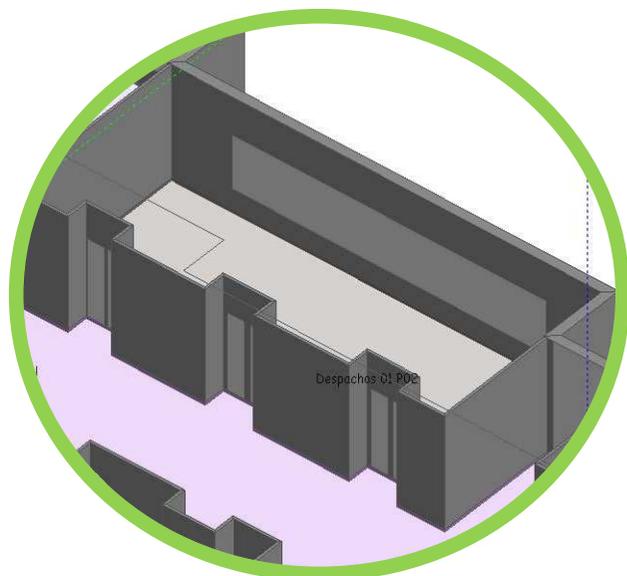


Figura 64: Despachos 01.P02.

Ganancias Internas-Despachos 01.P02

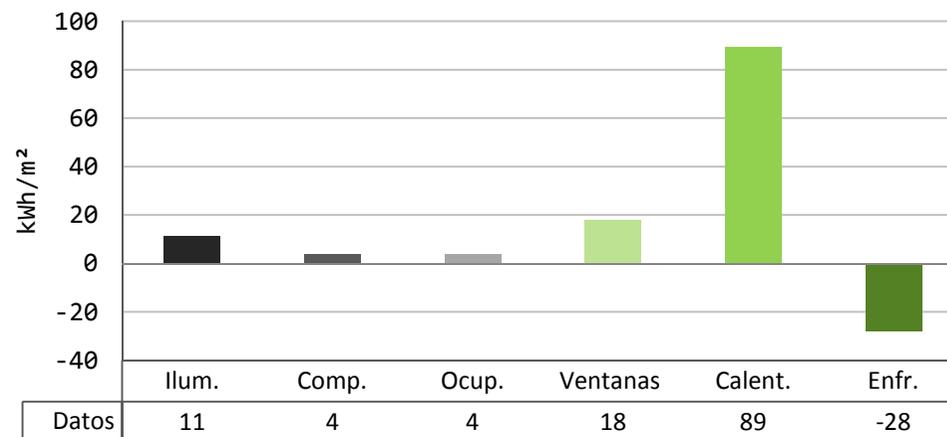


Figura 65: Ganancias internas de los Despachos 01.P02.

Comportamiento-Despacho 01.P02_I

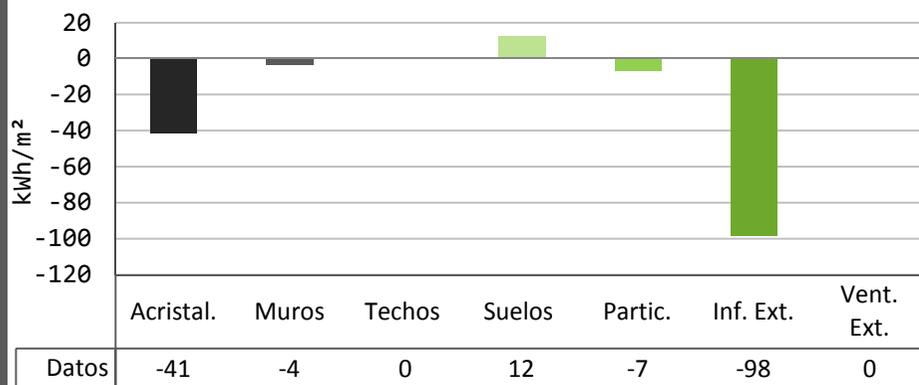


Figura 66: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 01.P02.

Comportamiento-Despacho 01.P02_V

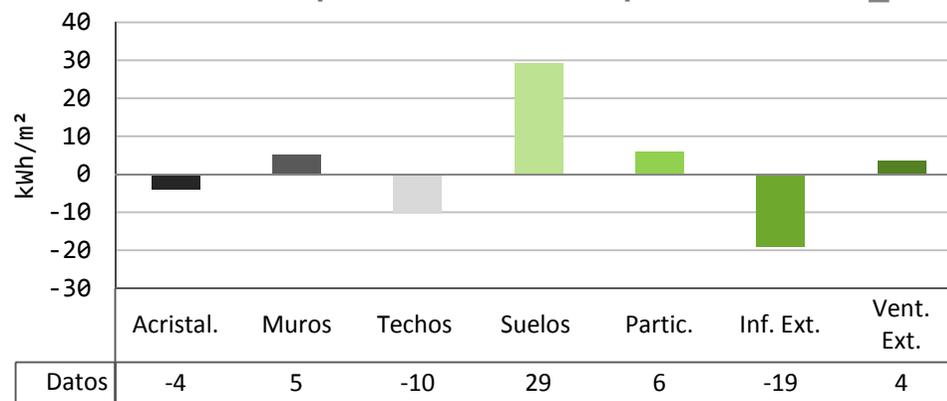


Figura 67: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 01.P02.

Este conjunto de despachos está en segunda planta por lo que los datos obtenidos difieren hasta los ahora conseguidos. En la Figura 65 el valor más relevante es la demanda de refrigeración que dobla los obtenidos hasta el momento debido a las altas temperaturas alcanzadas por la cubierta. Si se analiza la Figura 66 se aprecia que aparte de las pérdidas que se vienen encontrando en los despachos de primera planta, encontramos por primera vez ganancias en los suelos, debido en este caso a que la zona inferior esta calefactada. De la Figura 67 cabe destacar los suelos, que a diferencia de la cámara sanitaria aportan ganancias, que en verano son desfavorables. A modo resumen, el comportamiento final de este conjunto de despachos es que posee **pérdidas de 154 kWh/m²**.

Despacho 02.P02 Oeste

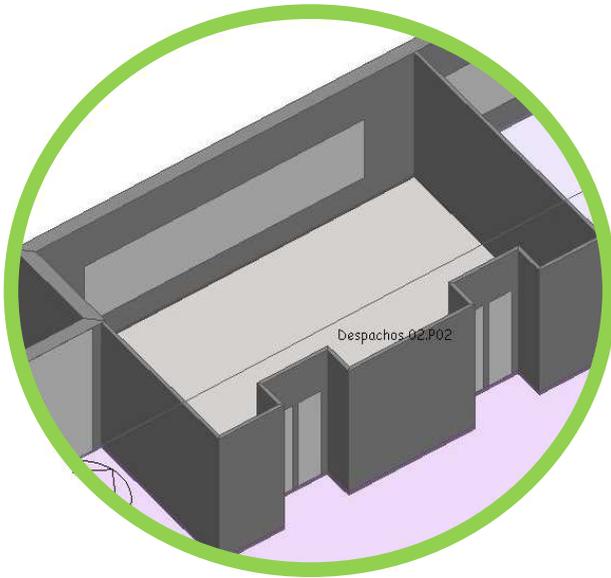


Figura 68: Despachos 02.P02.

Comportamiento-Despacho 02.P01_I

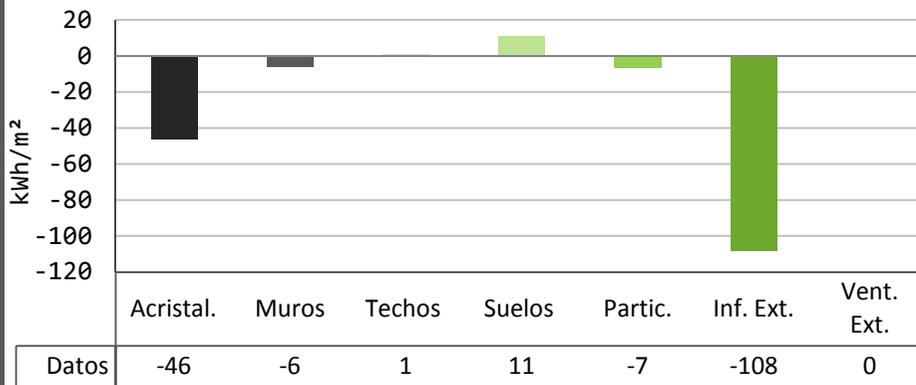


Figura 70: Comportamiento térmico en invierno de los Despachos 02.P02.

Ganancias Internas-Despachos 02.P02

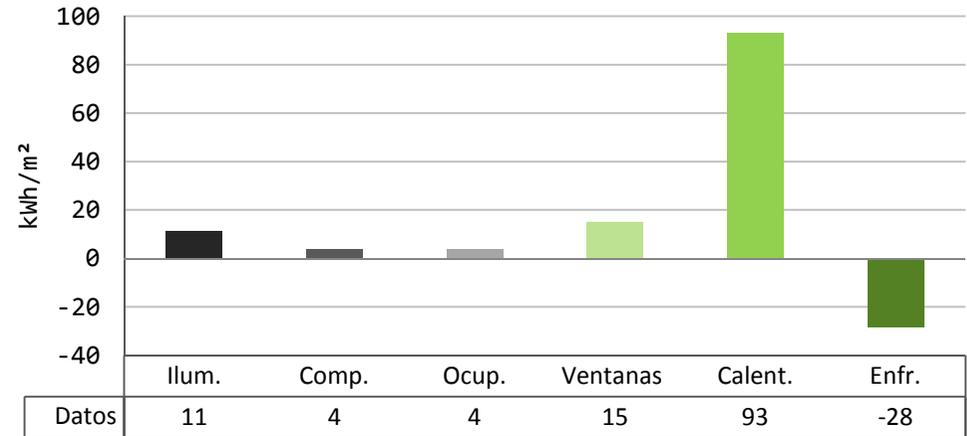


Figura 69: Ganancias internas de los Despachos 02.P02.

Comportamiento-Despacho 02.P01_V

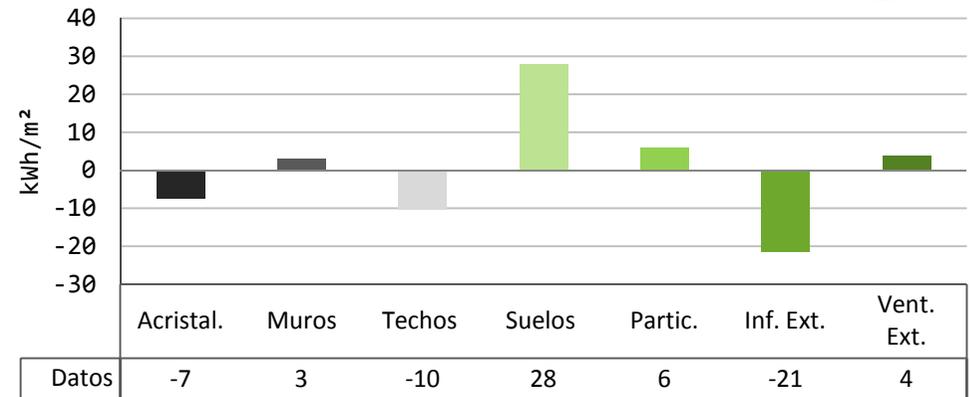
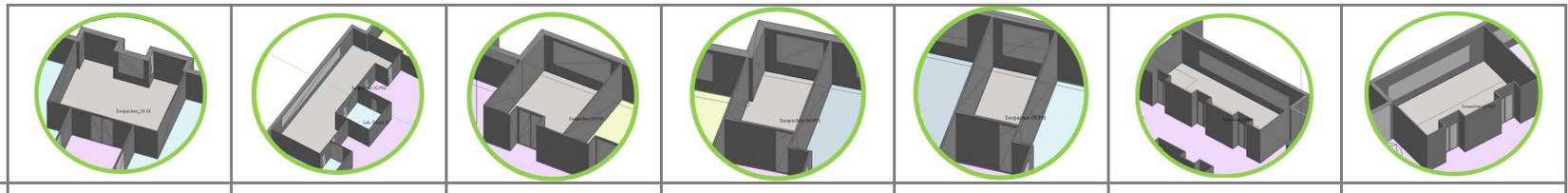
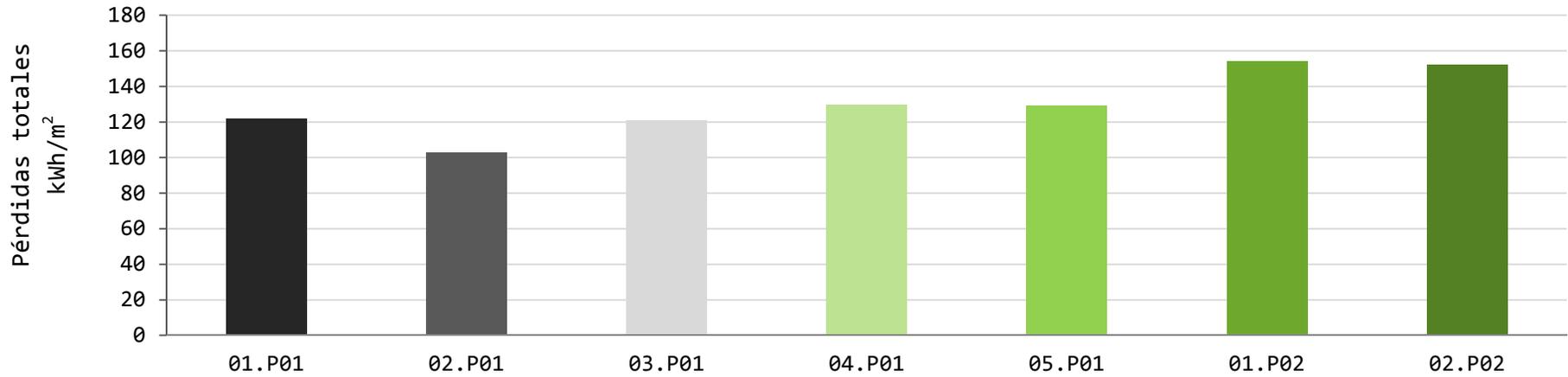


Figura 71: Comportamiento térmico en verano de los Despachos 02.P02.

A diferencia del apartado anterior, este conjunto de despachos se encuentra orientado al oeste lo que provoca variaciones en los datos obtenidos. En la Figura 69 destaca de nuevo la alta demanda de refrigeración en comparación con los despachos de primera planta. De la Figura 70 destacan las grandes pérdidas debidas a las infiltraciones exteriores, por otro lado llama la atención las ganancias en invierno por parte de los suelos al estar calefactada la zona inferior, así como las ganancias de la cubierta. Si se observa la Figura 71 existen de nuevo las ganancias por parte de los suelos, muros, particiones y ventilación exterior consiguiendo por tanto un aumento de la demanda de refrigeración. Para terminar, el comportamiento final de los despachos es de **pérdidas de 152 kWh/m²**.

Comparativa Despachos



Orientación	Norte	Oeste	Este	Este	Este	Este	Oeste
Planta	Primera	Primera	Primera	Primera	Primera	Segunda	Segunda
Pérdidas Totales (kWh/m²)	122	103	121	130	129	154	152
Calentamiento (kWh/m²)	82	74	79	89	93	89	93
Enfriamiento (kWh/m²)	13	14	14	14	14	28	28

Figura 72: Comparativa de comportamiento térmico de despachos.

En la Figura 72 se observa de forma clara una diferenciación entre los despachos de primera planta y de segunda, los despachos de primera planta tienen un comportamiento térmico mejor, con menores pérdidas anuales y con unas demandas de refrigeración que se encuentran muy por debajo de las de segunda planta debido al sobrecalentamiento de la cubierta. En cuanto a la comparativa en función de la orientación, no parece apreciarse un patrón ya que existen numerosas variables más, pero si se desprende unos pequeños mejores resultados en los despachos con orientación oeste que los que se encuentran en el este, situándose la orientación norte en un lugar medio. Finalmente cabe resaltar que los mejores resultados en pérdidas y demandas se han obtenido en los despachos 02.P01 que además de estar en planta primera, poseen orientación oeste y las estancias colindantes están calefactadas a excepción de los laboratorios.

Laboratorio de Construcción Oeste

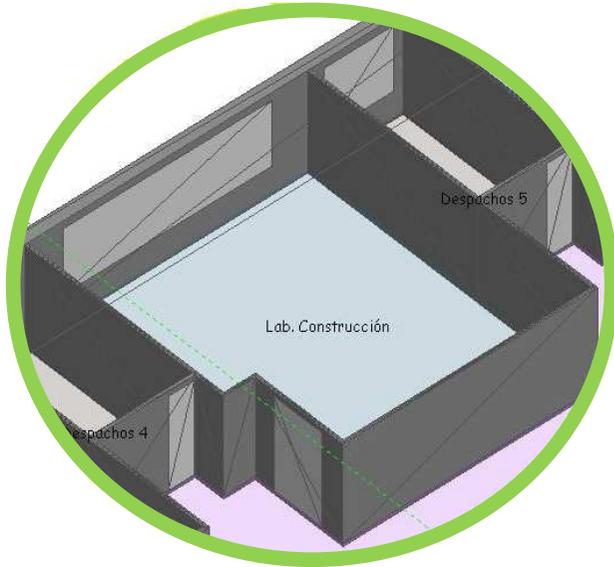


Figura 73: Lab. Construcción.

Comportamiento-Lab. Construcción_I

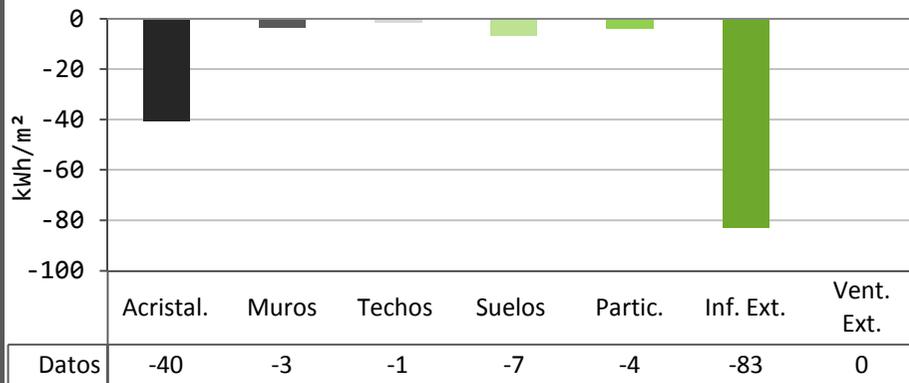


Figura 75: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Construcción.

Ganancias Internas-Lab. Construcción

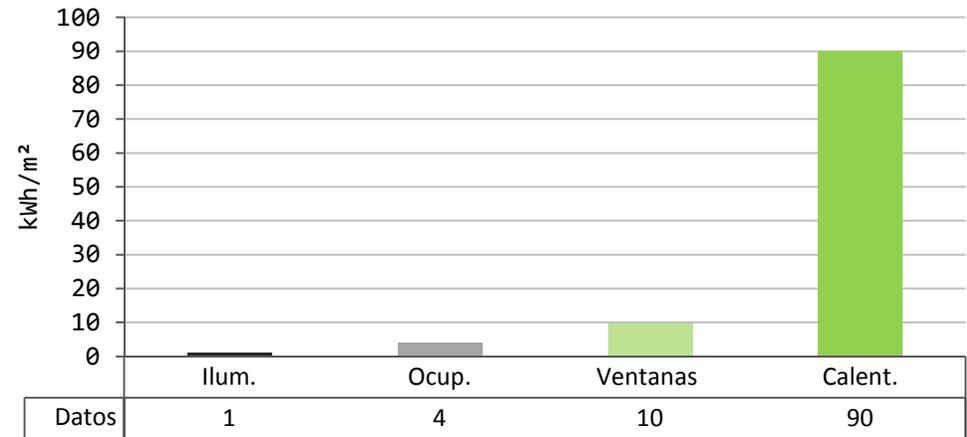


Figura 74: Ganancias internas del Lab. Construcción.

Comportamiento-Lab. Construcción_V

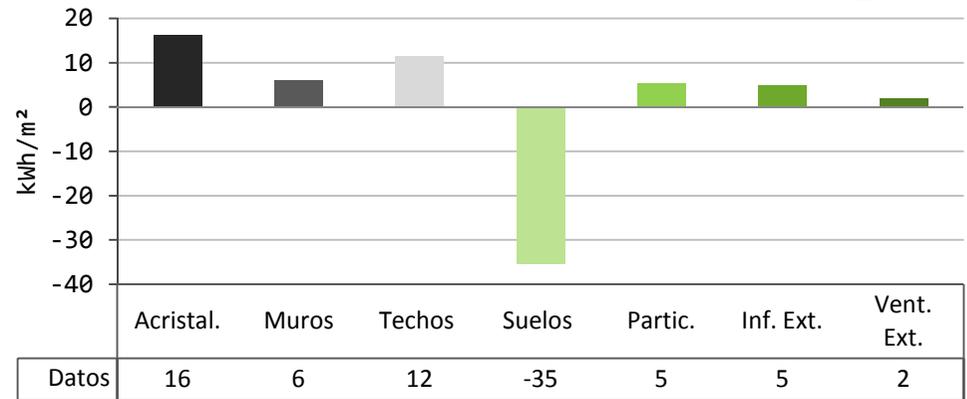


Figura 76: Comportamiento térmico en verano del Lab. Construcción.

El Laboratorio de Construcción es el único laboratorio que cuenta con calefacción, por lo que si se observa la Figura 74 se puede apreciar una alta demanda de este laboratorio pero que es suplida en parte por unas ganancias relevantes por parte de los acristalamientos debido a la gran superficie acristalada con la que cuenta y a la orientación oeste. En la Figura 75 se aprecia las pérdidas causadas por la totalidad de los elementos remarcándose las pertenecientes a acristalamientos e infiltraciones exteriores. En el periodo de verano, Figura 76, se aportan las ganancias térmicas a excepción de la cámara sanitaria, que es siempre favorable en esta época. El comportamiento térmico de la estancia se resume en **pérdidas de 127 kWh/m²**.

Laboratorio de Física I

Este

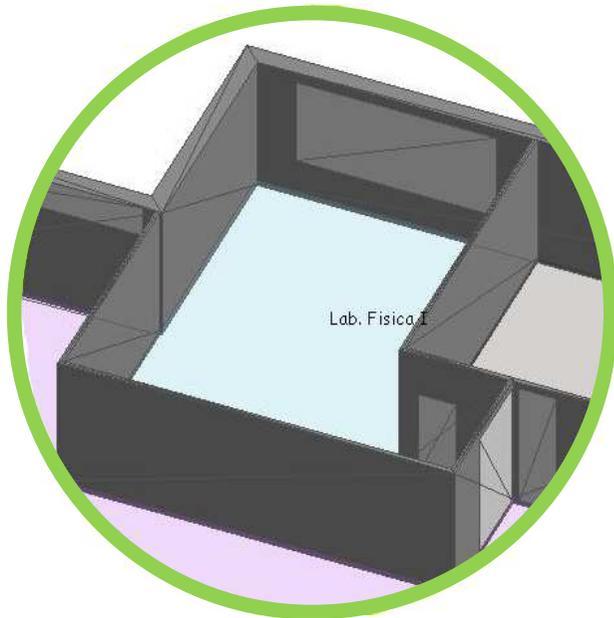


Figura 77: Lab. Física I.

Comportamiento-Lab. Física I_I

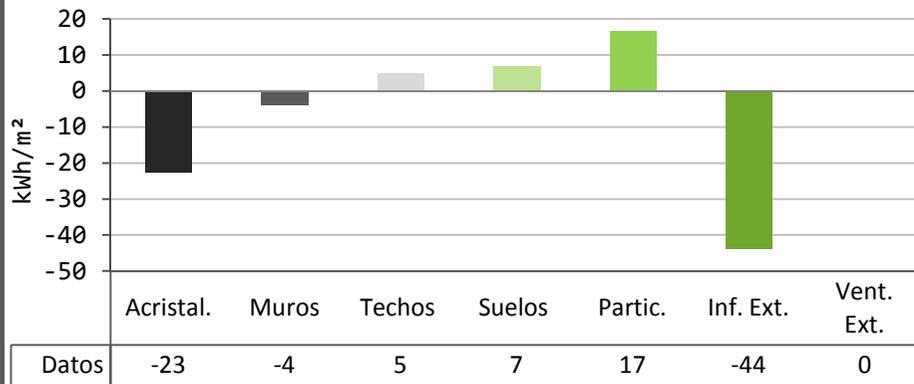


Figura 79: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Física I.

Ganancias Internas-Lab. Física I

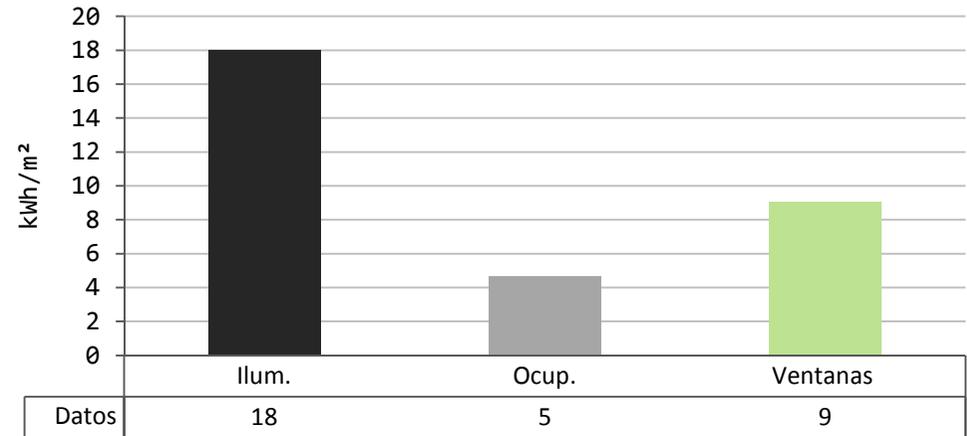


Figura 78: Ganancias internas del Lab. Física I.

Comportamiento-Lab. Física I_V

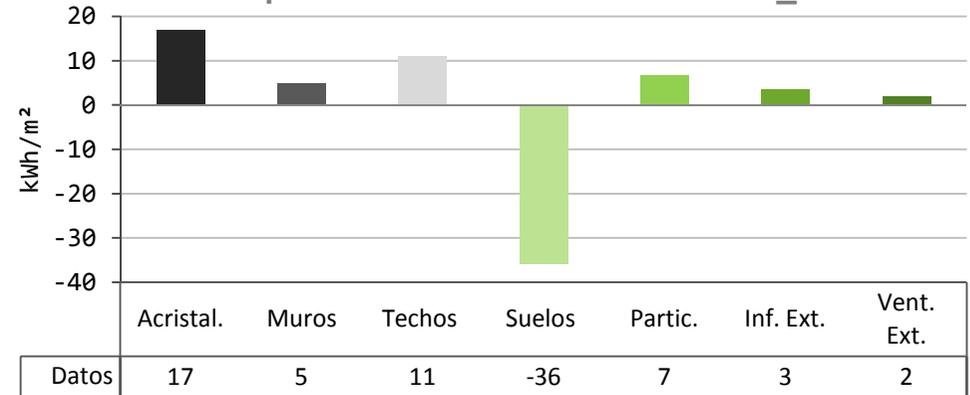


Figura 80: Comportamiento térmico en verano del Lab. Física I.

El Laboratorio de Física I no cuenta con climatización de la estancia por lo que solo cuenta con las ganancias aportadas por la iluminación, ocupación y las aportadas por el sol a través de las ventanas como puede observarse en la Figura 78. En la Figura 79 llama la atención como en este caso existen 3 elementos que aportan ganancias en invierno, todo ello provocado por tratarse de una estancia sin climatización y estar rodeado de recintos calefactados. Por otro lado en la Figura 80 se resalta el buen comportamiento para la época de los suelos, en cambio el alto porcentaje de vidrio en comparación con el muro existente, aporta un gran número de ganancias desfavorables para el verano. El comportamiento térmico final de la estancia es de **pérdidas de 33 kWh/m²**.

Laboratorio de Física II Interior

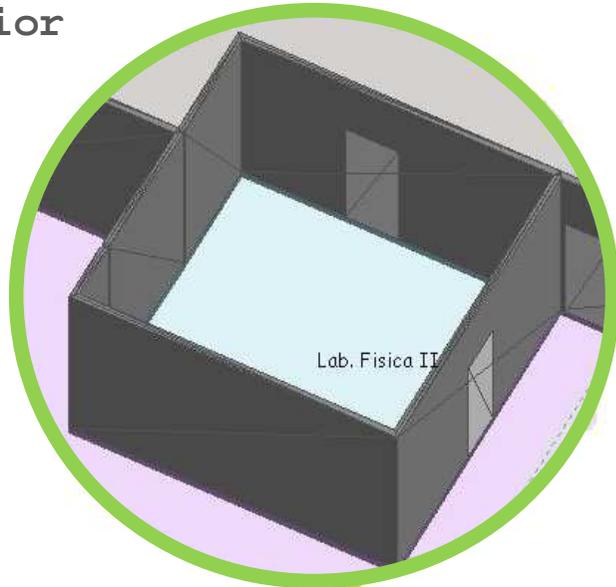


Figura 81: Lab. Física II.

Comportamiento-Lab. Física II_I

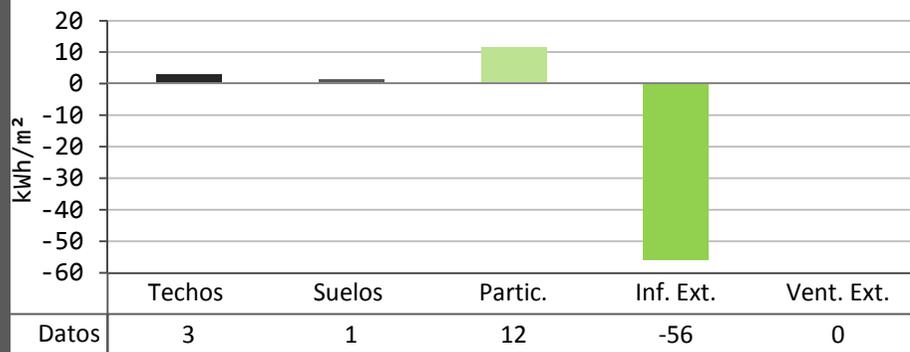


Figura 83: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Física II.

Este laboratorio tiene la singularidad de ser una estancia que se encuentra aislado del exterior, por lo que si se observa la Figura 82 se encuentra que las únicas ganancias de la zona son debidas a la iluminación y a la ocupación, esto implicará a la hora del análisis del comportamiento térmico que sus ganancias son más limitadas, sin embargo el confort no es alcanzado en el interior. En la Figura 83 se aprecia claramente como tratándose del periodo de invierno casi todo son ganancias debido a que son estancias calefactadas o cerradas al exterior. En adición, la Figura 84 muestra de nuevo una totalidad de ganancias por las mayores temperaturas alcanzadas en las salas con acristalamientos, a excepción del suelo que tiene un efecto refrescante. Finalmente el comportamiento térmico del laboratorio es de **pérdidas de 15 kWh/m²**.

Ganancias Internas-Lab. Física II

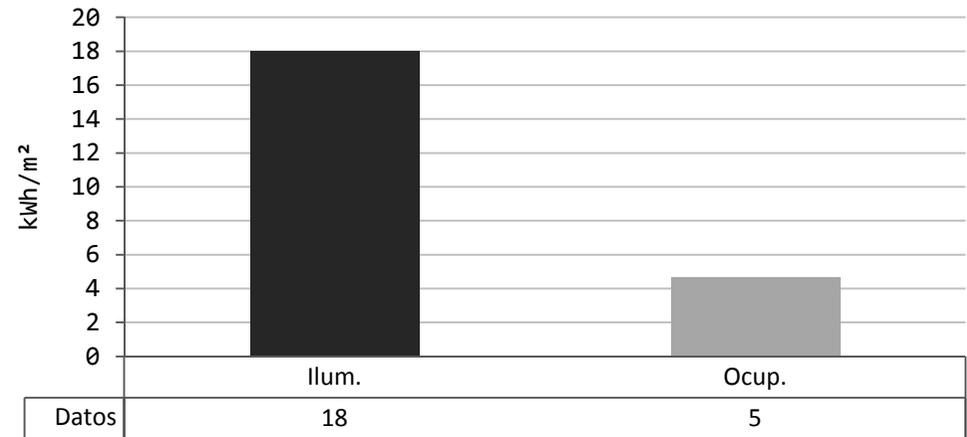


Figura 82: Ganancias internas del Lab. Física II.

Comportamiento-Lab. Física II_V

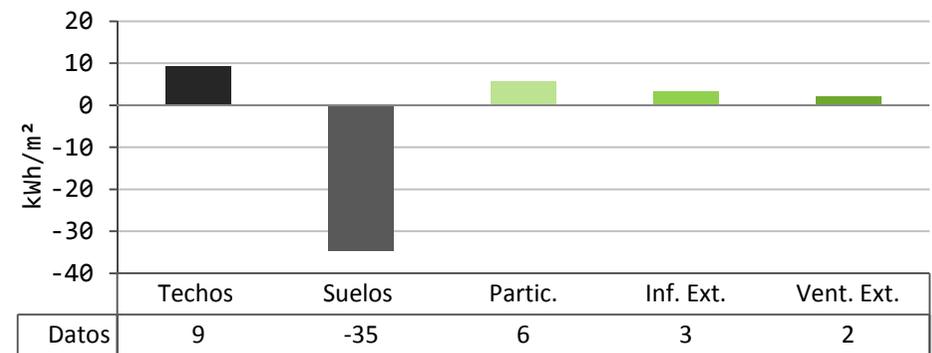


Figura 84: Comportamiento térmico en verano del Lab. Física II.

Laboratorio de Fotónica Oeste

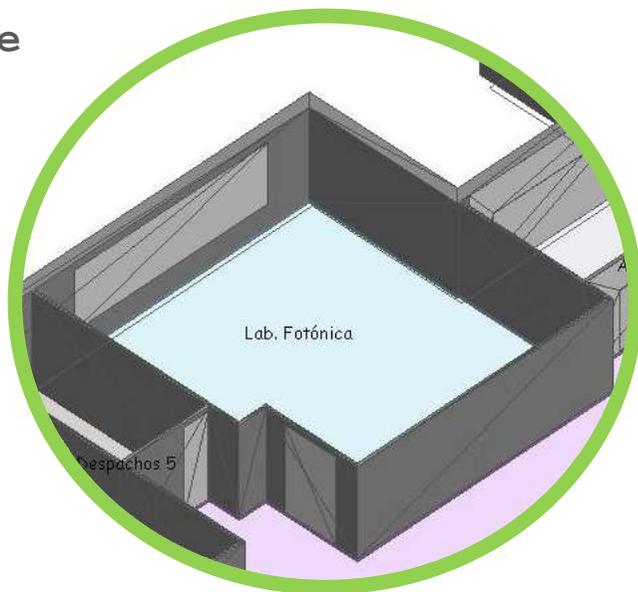


Figura 85: Lab. Fotónica.

Comportamiento-Lab. Fotónica_I

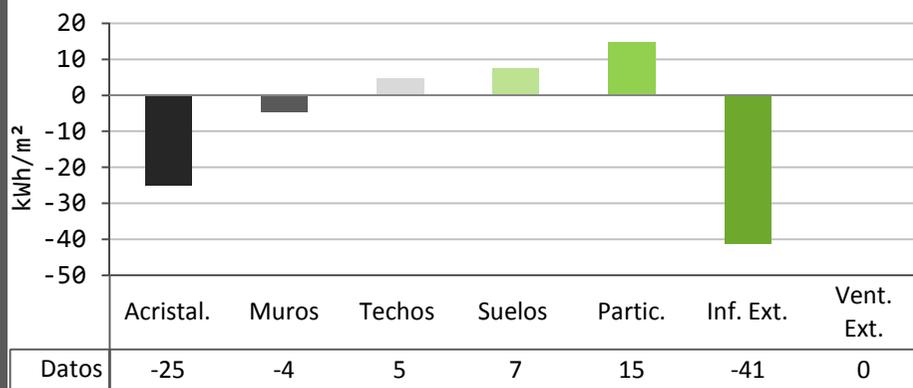


Figura 87: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Fotónica.

Ganancias Internas-Lab. Fotónica

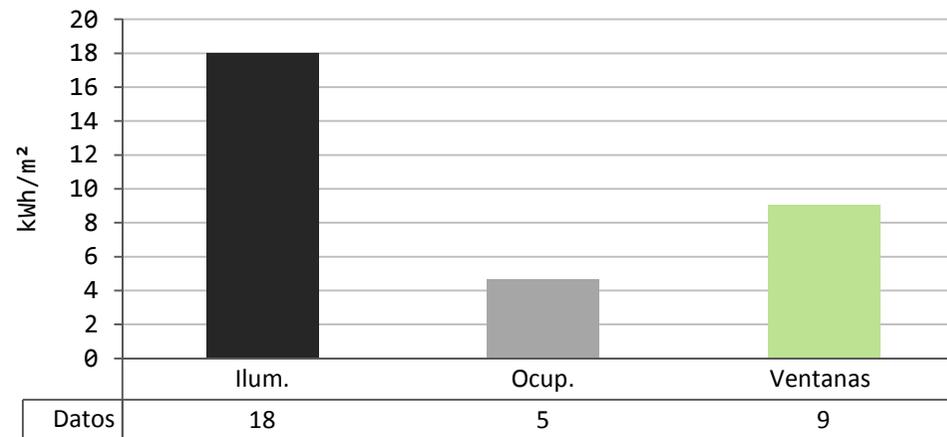


Figura 86: Ganancias internas del Lab. Fotónica.

Comportamiento-Lab. Fotónica_V

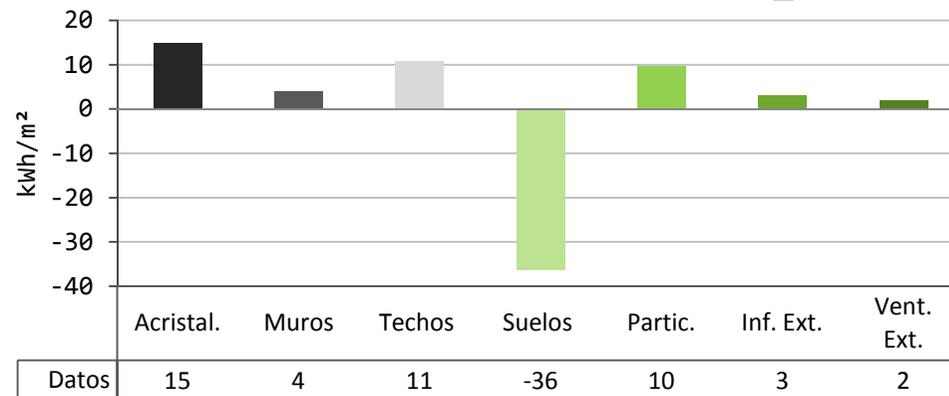


Figura 88: Comportamiento térmico en verano del Lab. Fotónica.

El Laboratorio de Fotónica de nuevo tampoco cuenta con climatización, encontrándose en la Figura 86 unos datos iguales a los obtenidos por el Laboratorio de Física I. En la Figura 87 se observa unas llamativas ganancias por parte de suelos, techos y particiones que son explicadas al no tener calefacción en la estancia y estar rodeado por recintos con mayores temperaturas. Por su parte, la Figura 88 muestra ganancias similares a las obtenidas hasta el momento, destacando las aportadas por los acristalamientos. A modo de resumen, el comportamiento térmico final de la estancia es de **pérdidas de 34 kWh/m²**.

Laboratorio de Materiales I Norte-Este

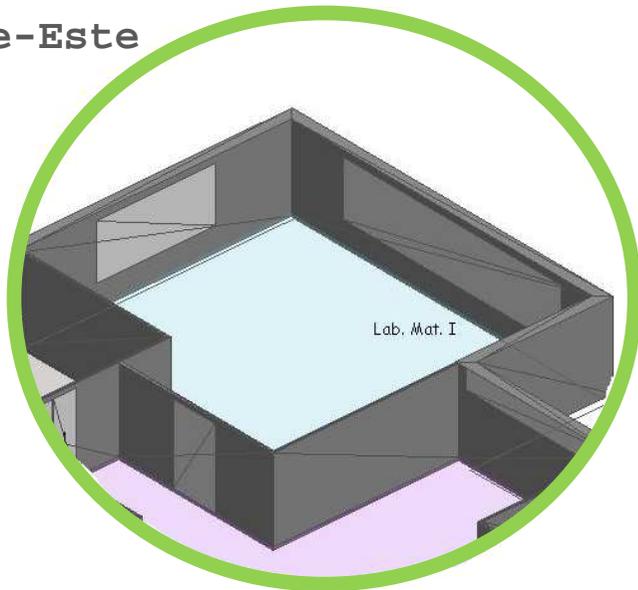


Figura 89: Lab. Materiales I.

Comportamiento-Lab. Materiales I_I

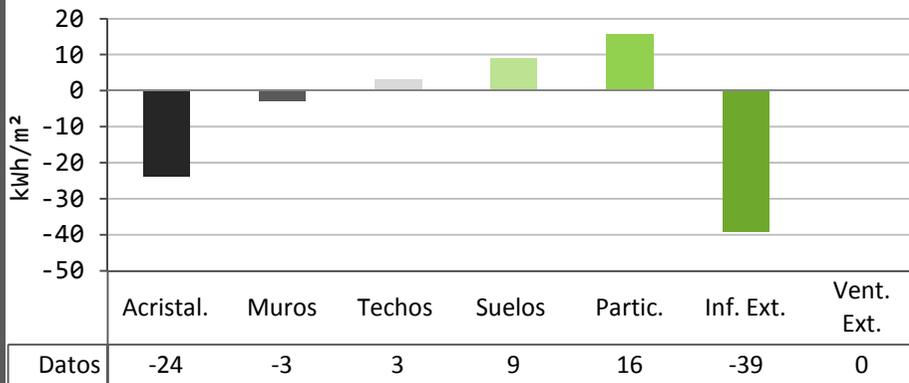


Figura 91: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Materiales I.

Los laboratorios de materiales, al contrario de otros laboratorios, cuentan con refrigeración, por lo que se puede ver en la Figura 90 una demanda de refrigeración no muy alta y unas ganancias solares por ventanas significativas, debido a la gran superficie acristalada de la estancia. En la Figura 91 se observa como viene siendo normal en las estancias no calefactadas, unas ganancias de techos, suelos y particiones procedentes de estancias que al estar tener mayores temperaturas, transfieren el calor a la zona fría que en este caso son los laboratorios. Por otro lado en la Figura 92 se obtienen las ganancias normales en verano, ya que en este caso las altas temperaturas se encuentran en el exterior transfiriendo en este caso el calor al interior del laboratorio. Por todo ello el comportamiento térmico del laboratorio es de **pérdidas de 11 kWh/m²**.

Ganancias Internas-Lab. Materiales I

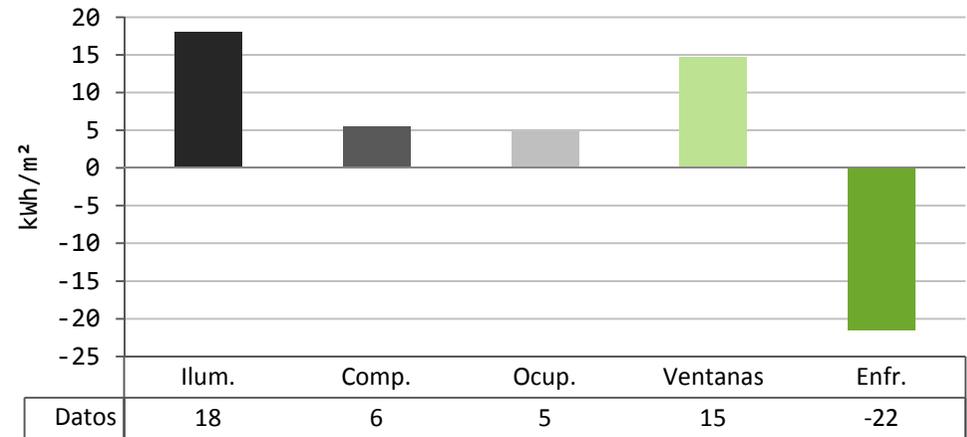


Figura 90: Ganancias internas del Lab. Materiales I.

Comportamiento-Lab. Materiales I_V

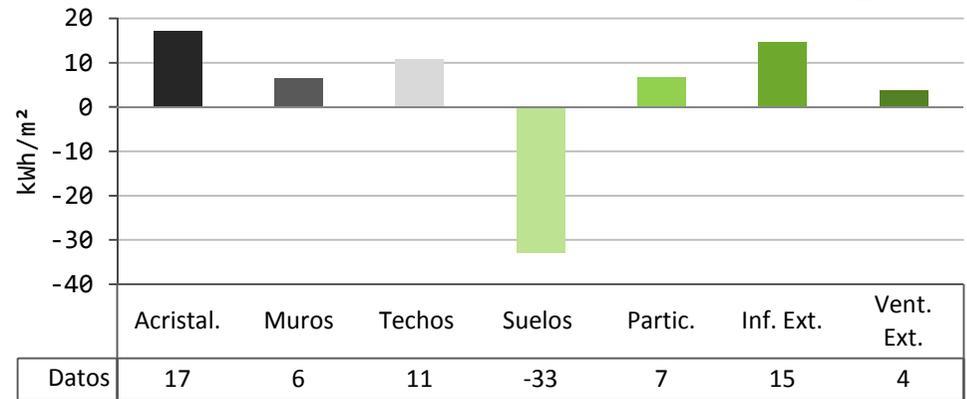


Figura 92: Comportamiento térmico en verano del Lab. Materiales I.

Laboratorio de Materiales II Norte-Oeste

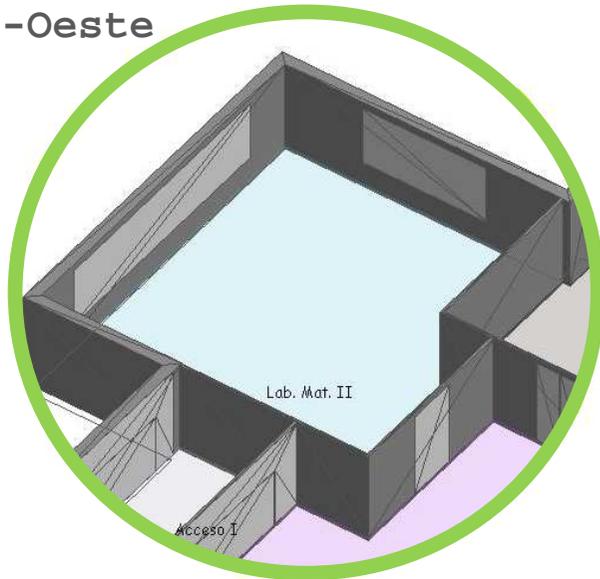


Figura 93: Lab. Materiales II.

Comportamiento-Lab. Materiales II_I

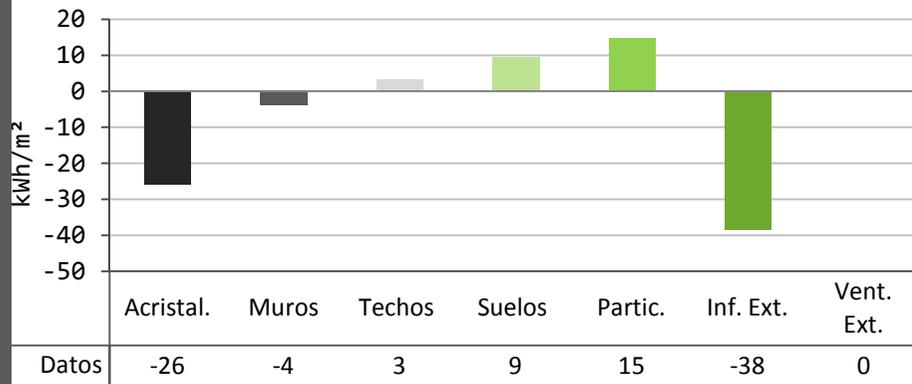


Figura 95: Comportamiento térmico en invierno del Lab. Materiales II.

El Laboratorio de Materiales II es de iguales características al anterior, pero simétrico y por tanto con orientación Norte-Oeste, esto provoca que en la Figura 94 se observen unos datos iguales a los del laboratorio gemelo, sin embargo las ganancias solares son ligeramente inferiores en esta orientación. El comportamiento del laboratorio en invierno se puede observar en la Figura 95 resaltándose las pérdidas por acristalamientos por sus grandes superficies y las debidas a las infiltraciones exteriores. En la Figura 96 al contrario, los dos elementos mencionados anteriormente son los que provocan la mayor parte de ganancias sufragadas en parte por la cámara sanitaria. Finalmente el comportamiento térmico del laboratorio es de **pérdidas de 13 kWh/m²**.

Ganancias Internas-Lab. Materiales II

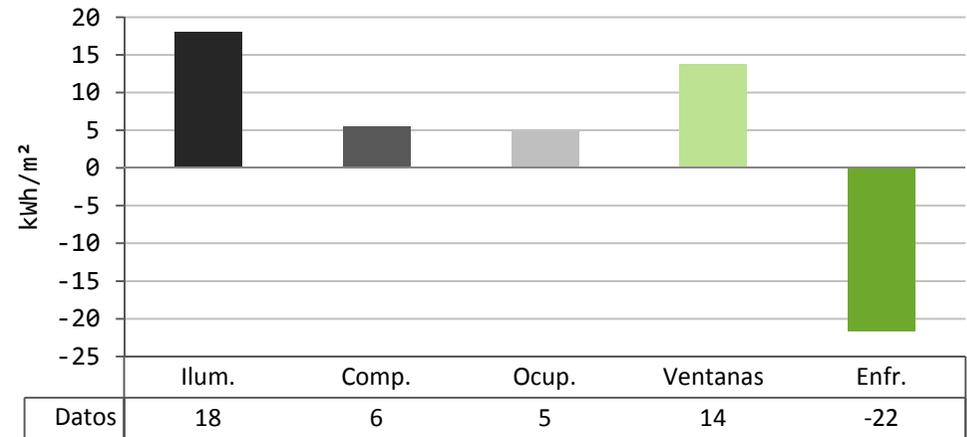


Figura 94: Ganancias internas del Lab. Materiales II.

Comportamiento-Lab. Materiales II_V

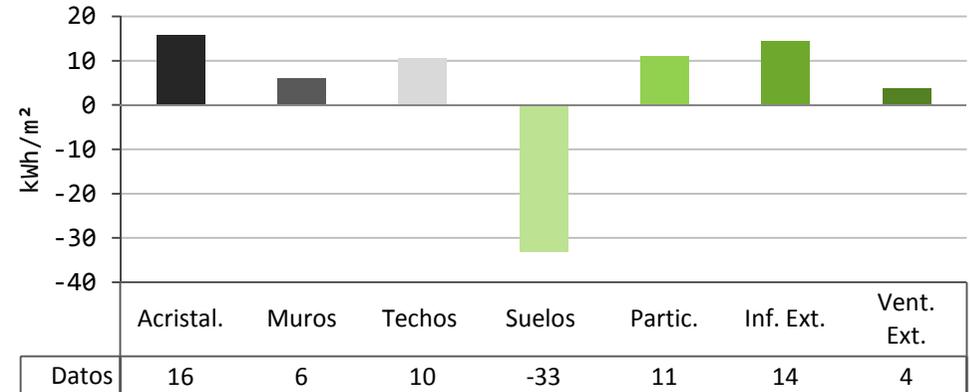
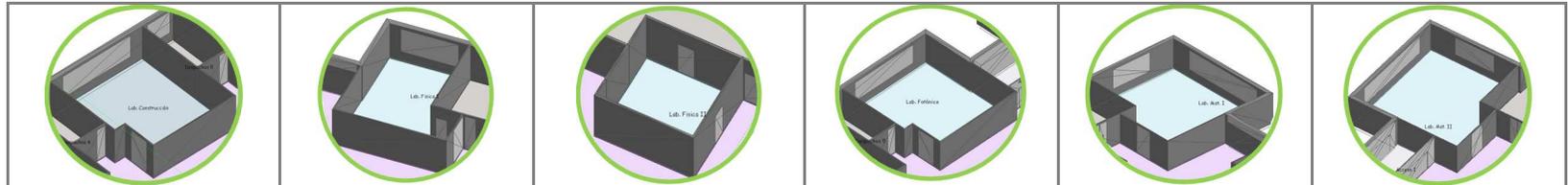
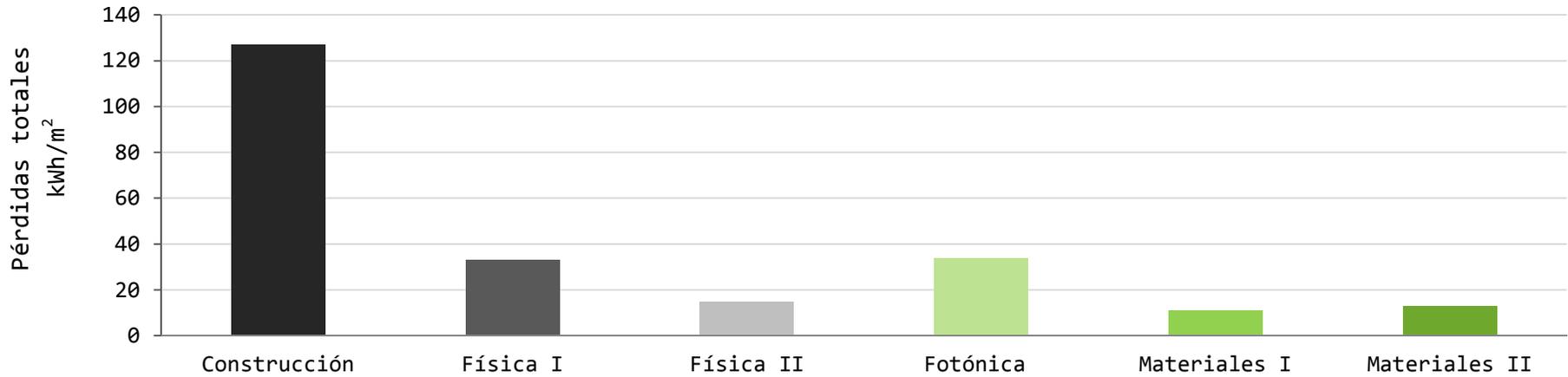


Figura 96: Comportamiento térmico en verano del Lab. Materiales II.

Comparativa Laboratorios



Orientación	Oeste	Este	-	Oeste	Norte-Este	Norte-Oeste
Planta	Primera	Primera	Primera	Primera	Primera	Primera
Pérdidas Totales (kWh/m²)	127	33	15	34	11	13
Ganancias Solares (kWh/m²)	10	9	-	9	15	14

Figura 97: Comparativa de comportamiento térmico de laboratorios.

Al ser los laboratorios estancias heterogéneas en cuanto a la existencia de climatización, se ha usado en la Figura 97 para la comparativa entre los mismos, las ganancias solares que aportan. Como elemento llamativo queda resaltado las mayores pérdidas totales que tiene el laboratorio de construcción, que es el único laboratorio con calefacción. Este hecho puede deberse a que al existir una mayor temperatura en este laboratorio, las transferencias de calor son mucho mayores que si existiese una temperatura similar a la del exterior, como ocurre en el resto de laboratorios. Aparte de esto, el resto de laboratorios, parecen contar con menos pérdidas los laboratorios de materiales debido a unas mayores infiltraciones exteriores en verano al tener mayor envolvente en contacto con el exterior. Por último si se aprecian las ganancias solares aportadas, se aprecia unas mayores ganancias en los laboratorios de materiales debido a su mayor superficie acristalada en relación con el resto.

Sala de Juntas
Oeste

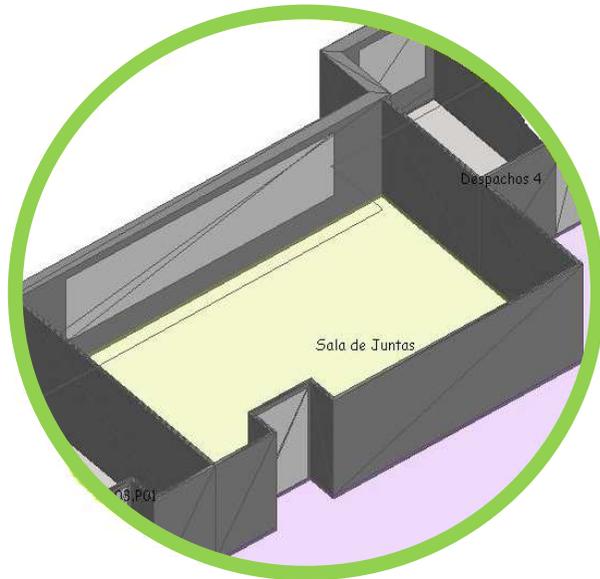


Figura 98: Sala de Juntas.

Ganancias Internas-Sala de Juntas

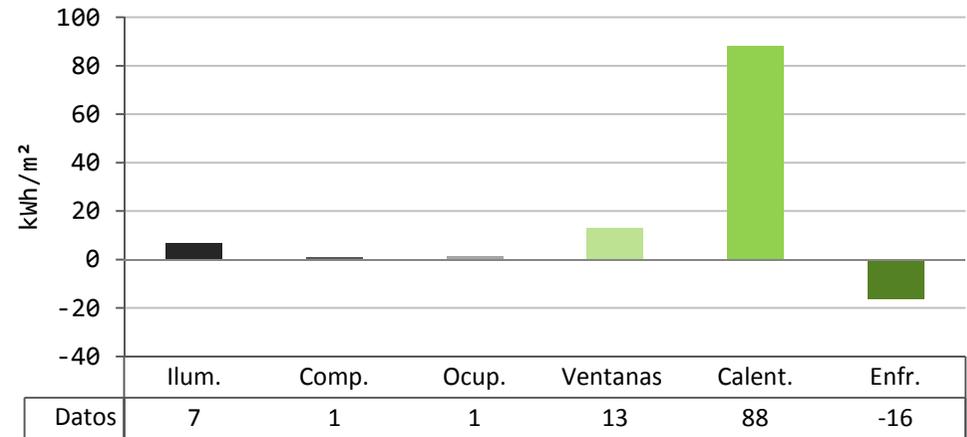


Figura 99: Ganancias internas de la Sala de Juntas.

Comportamiento-Sala de Juntas_I

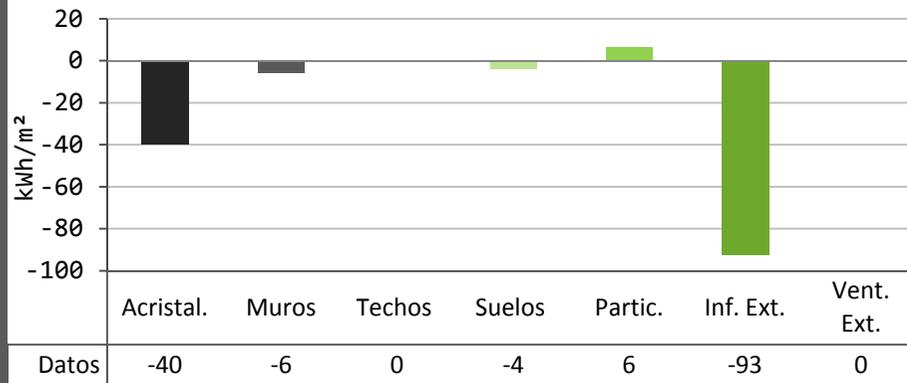


Figura 100: Comportamiento térmico en invierno de la Sala de Juntas.

Comportamiento-Sala de Juntas_V

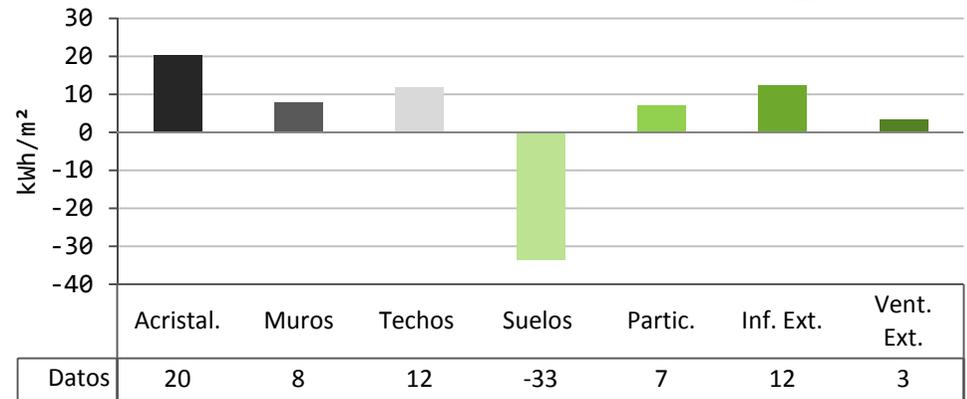


Figura 101: Comportamiento térmico en verano de la Sala de Juntas.

La Sala de Juntas y el Salón de Actos cuentan con climatización, por ello en la Figura 99 se aprecia una alta demanda de calefacción, además en esta ocasión las ganancias de ocupación son bajas debidas a bajo uso de la sala durante el año. En la Figura 100 se aprecian las pérdidas ocasionadas por las bajas temperaturas del clima cacereño, siendo las de mayor relevancia las provocadas por las infiltraciones exteriores. Por otro lado en el periodo de verano, Figura 101, resaltan las ganancias de los acristalamientos y las pérdidas favorables procedentes del forjado sanitario. El comportamiento térmico final del cuarto es **de pérdidas de 108 kWh/m²**.

Salón de Actos
Este

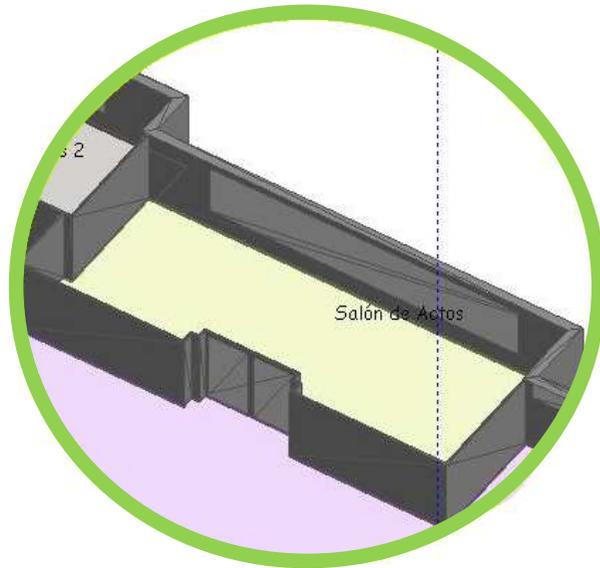


Figura 102: Salón de Actos.

Comportamiento-Salón de Actos_I

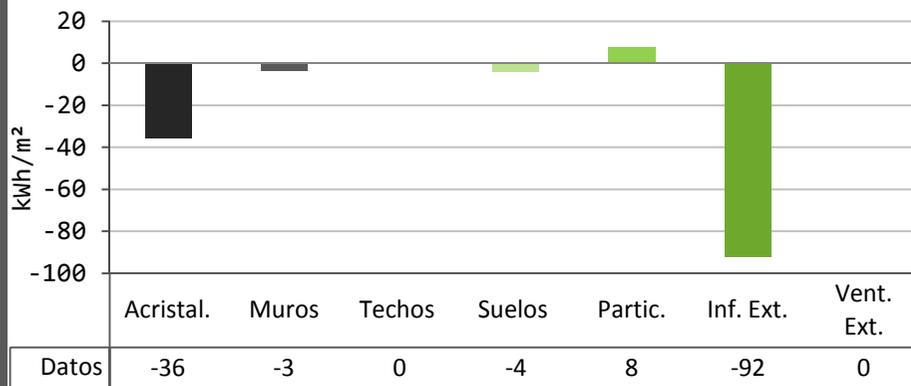


Figura 104: Comportamiento térmico en invierno del Salón de Actos.

Ganancias Internas-Salón de Actos

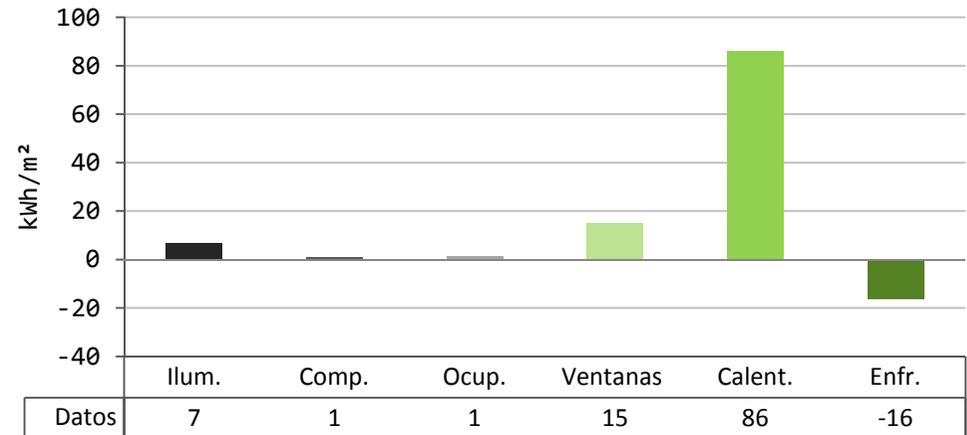


Figura 103: Ganancias internas del Salón de Actos.

Comportamiento-Salón de Actos_V

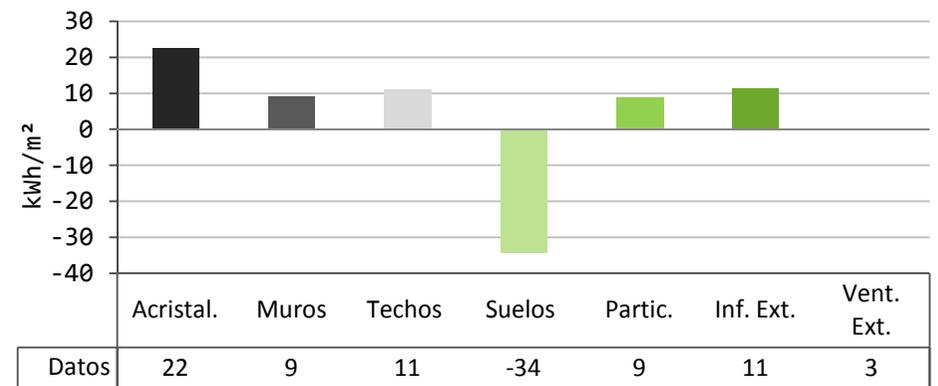
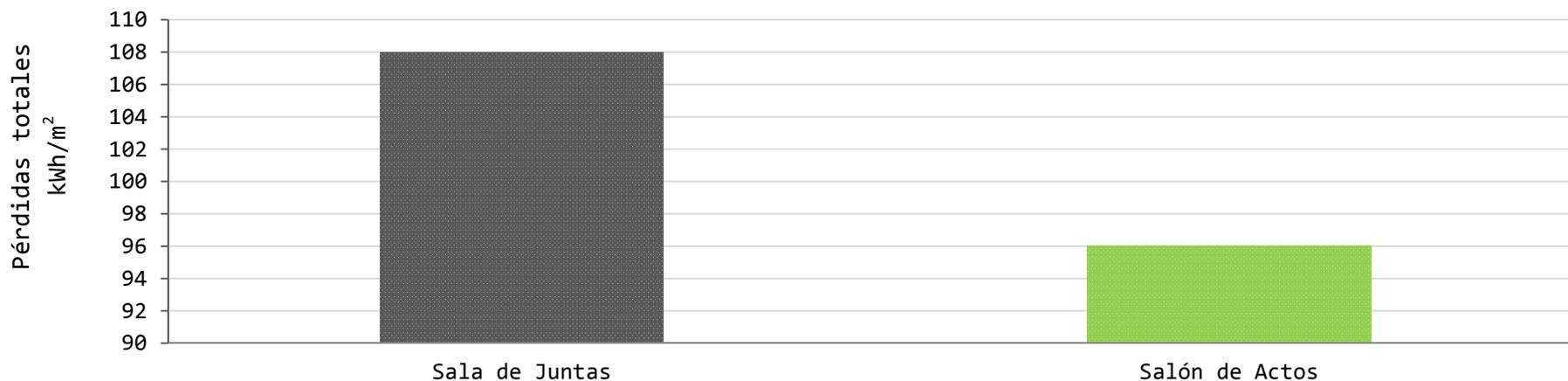


Figura 105: Comportamiento térmico en verano del Salón de Actos.

El Salón de Actos como se puede visualizar en la Figura 103, es una estancia con climatización completa, pero cuya ocupación está más limitada que en otros cuartos del edificio. En cuanto a su comportamiento en invierno, se aprecia en la Figura 104 las grandes pérdidas aportadas por las infiltraciones al tener una gran envolvente en contacto con el exterior, así como las pérdidas procedentes de los acristalamientos. En la Figura 105 por el contrario, son estos acristalamientos los que provocan las ganancias, en este caso desfavorables, desprendiéndose entonces el puente térmico que crean en las dos estaciones. Por último el comportamiento térmico del salón de actos es de **pérdidas de 96 kWh/m²**.

Comparativa Salas



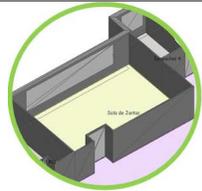
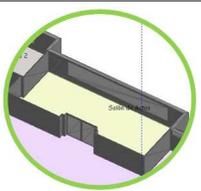
	 Sala de Juntas	 Salón de Actos
Orientación	Oeste	Este
Planta	Primera	Primera
Pérdidas Totales (kWh/m²)	108	96
Calentamiento (kWh/m²)	88	86
Enfriamiento (kWh/m²)	16	16

Figura 106: Comparativa de comportamiento térmico de salas.

Como puede apreciarse en la Figura 106 las dos salas son de similares características, ambas están rodeadas por estancias climatizadas, cuentan con grandes acristalamientos y su uso no es elevado, por lo que su mayor diferencia reside en la orientación. Las demandas de calefacción son bastante parecidas, pero esta diferencia puede deberse a que para el alcance del confort en el interior de la sala las ganancias solares de la orientación este son mayores, por tanto necesita menos calefacción. Por otro lado la influencia del sol también afecta a las ganancias o pérdidas por acristalamientos y muros exteriores, dándole unos mejores resultados a la sala con orientación este. Finalmente la demanda de refrigeración al ser más baja no se ve repercutida por estos aspectos.

Aula I
Este

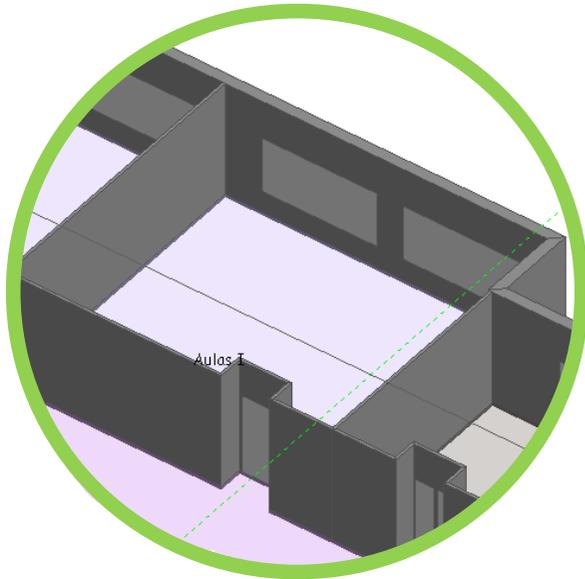


Figura 107: Aula I.

Ganancias Internas-Aula I

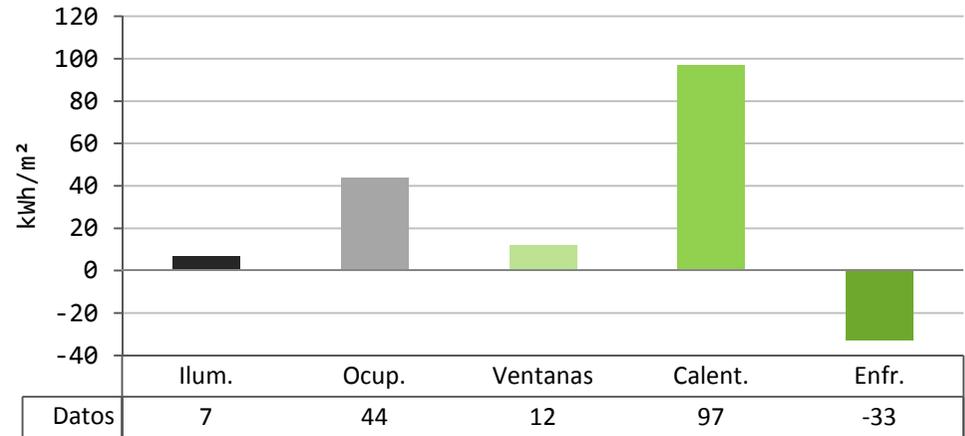


Figura 108: Ganancias internas del Aula I.

Comportamiento-Aula I_I

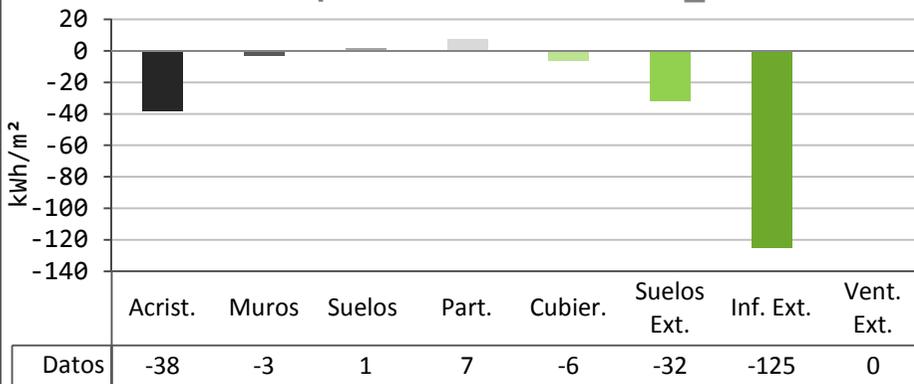


Figura 109: Comportamiento térmico en invierno del Aula I.

Comportamiento-Aula I_V

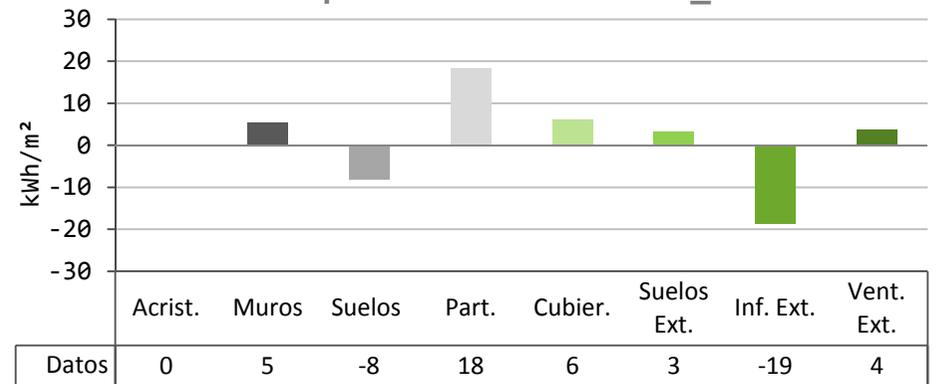


Figura 110: Comportamiento térmico en verano del Aula I.

El Aula I es el único que cuenta con equipos de refrigeración y como puede observarse en la Figura 108 su demanda en este aspecto dobla a las encontradas hasta el momento en las estancias que disponen de refrigeración en planta baja. Esta alta demanda es debida a una mayor exposición al exterior de los recintos en planta primera y de un sobrecalentamiento de la cubierta. En la Figura 109 aparece un nuevo factor no visto hasta el momento que es el suelo exterior, provocado por los voladizos de planta alta, y que aumentan las pérdidas de la estancia. Por otro lado el comportamiento del aula en verano, Figura 110, es algo más irregular, favoreciéndole las infiltraciones del exterior, en especial las nocturnas. El resultado final de las ganancias y pérdidas térmicas del recinto es de **pérdidas de 187 kWh/m²**.

Aula II
Este

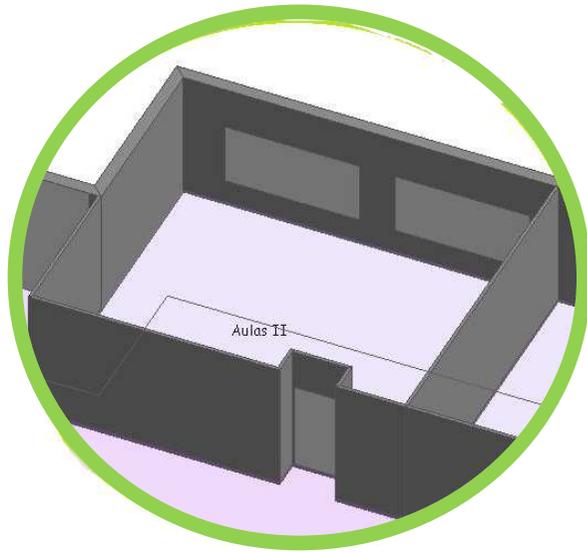


Figura 111: Aula II.

Comportamiento-Aula II_I

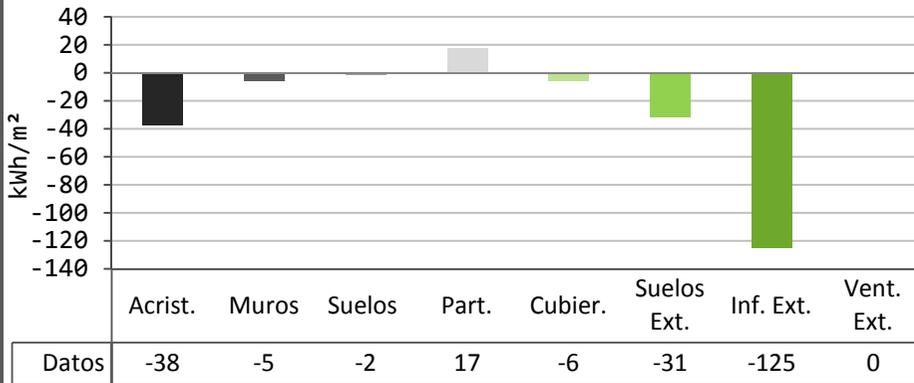


Figura 113: Comportamiento térmico en invierno del Aula II.

El Aula que se analiza en este apartado es de iguales características y superficie que el anterior pero no cuenta con refrigeración, por lo que puede observarse en la Figura 112 tan sólo la demanda de calefacción que en parte ha sido rebajada gracias a las ganancias procedentes de la ocupación, ya que a pesar de estar predeterminada como un aula ocupada al 50% las ganancias son altas. En la Figura 113 se aprecia de nuevo las pérdidas ocasionadas por los voladizos, además de ello resaltan las ocasionadas por la cubierta que en los recintos de planta baja se convierten en ganancias. En la siguiente gráfica, Figura 114, destaca sobre el resto las ganancias aportadas por las particiones debido a las altas temperaturas alcanzadas en el pasillo central. Finalmente el comportamiento térmico de la estancia es de **pérdidas de 210 kWh/m²**.

Ganancias Internas-Aula II

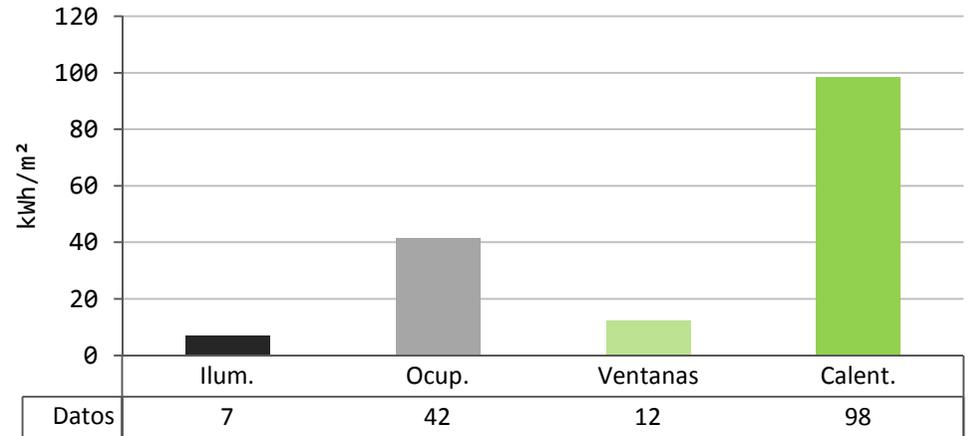


Figura 112: Ganancias internas del Aula II.

Comportamiento-Aula II_V

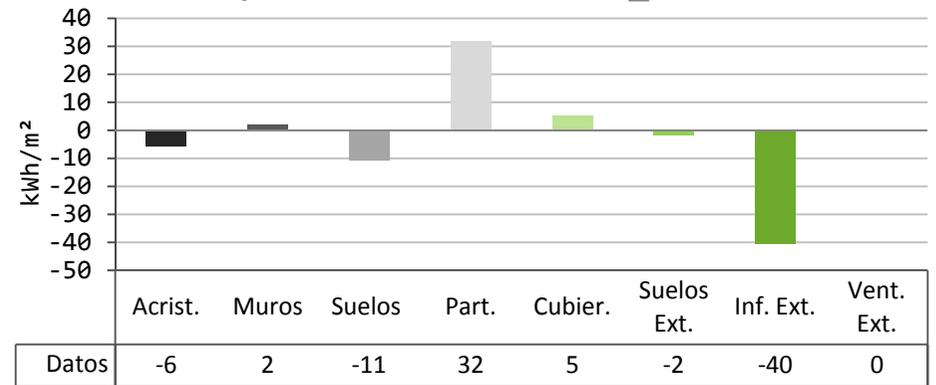


Figura 114: Comportamiento térmico en verano del Aula II.

Aulas III
Oeste

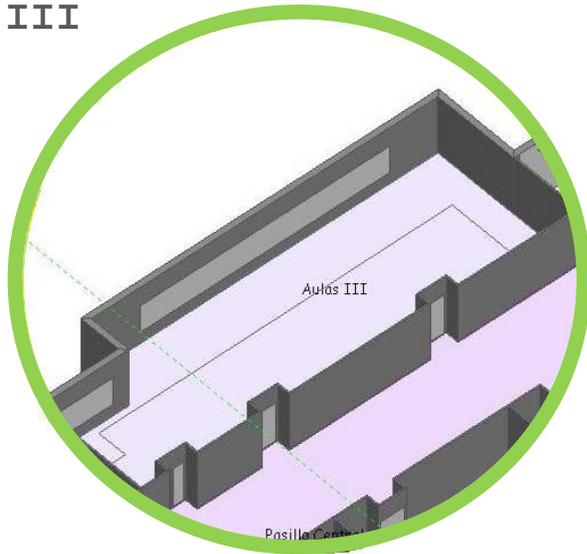


Figura 115: Aulas III.

Ganancias Internas-Aula III

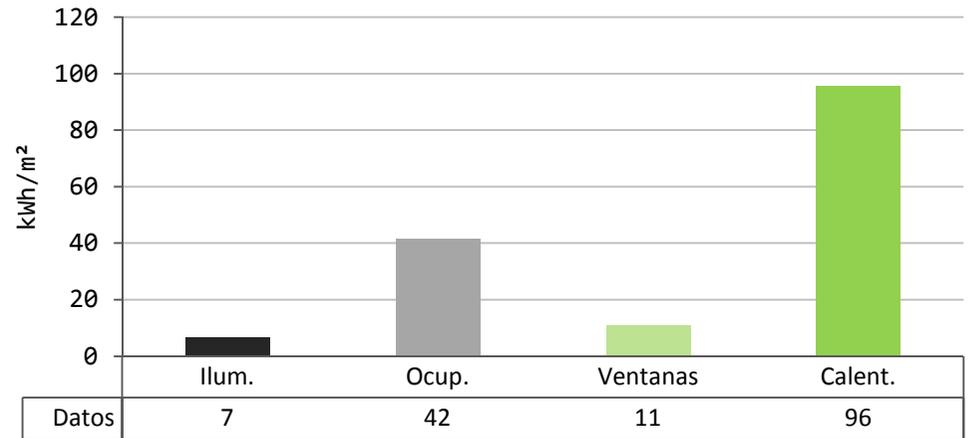


Figura 116: Ganancias internas de las Aulas III.

Comportamiento-Aulas III_I

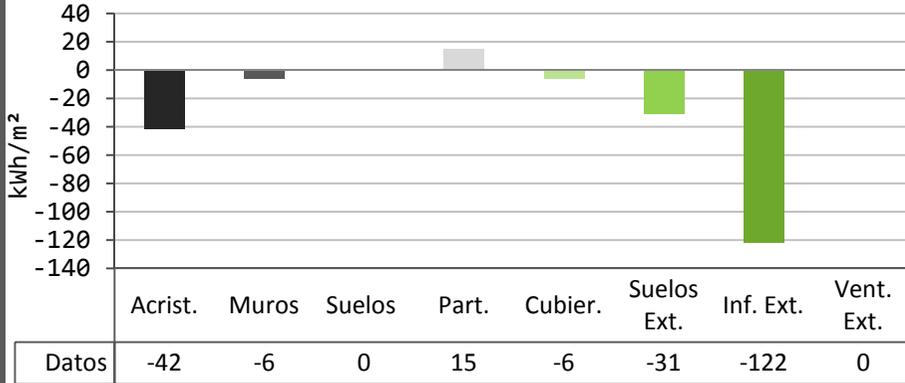


Figura 117: Comportamiento térmico en invierno de las Aulas III.

Comportamiento-Aulas III_V

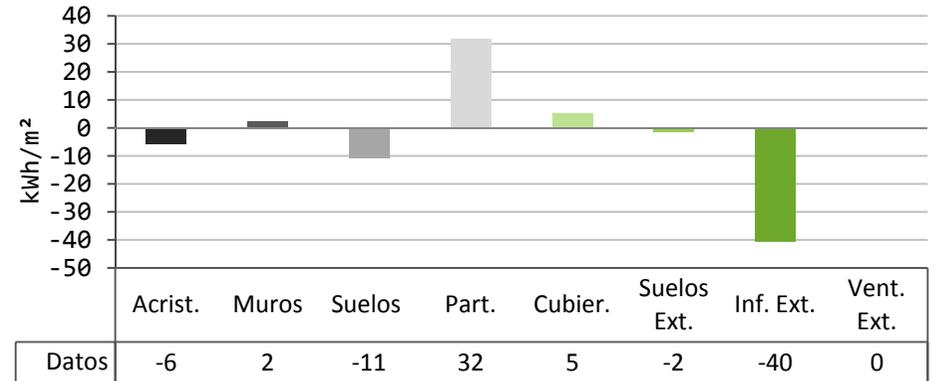


Figura 118: Comportamiento térmico en verano de las Aulas III.

Este apartado agrupa 3 aulas, dos iguales a las anteriormente mencionadas y el aula de economía. En la Figura 116 se aprecia una demanda de calefacción similar a las aulas de enfrente al igual que ocurre con las ganancias solares procedentes de las ventanas, aunque como viene siendo habitual en esta orientación, es ligeramente inferior. La siguiente figura, Figura 117, muestra las pérdidas habituales encontradas hasta el momento a excepción de las ganancias aportadas por las particiones debidas a las altas temperaturas conseguidas por el lucernario en el pasillo central. En la Figura 118 destaca que al tratarse del período veraniego se consiguen pérdidas por acristalamientos, suelos e infiltraciones y esto es conseguido por estos elementos durante la noche, ya que se alcanzarán temperaturas similares o más bajas a las de la estancia, provocando las consiguientes pérdidas. El comportamiento final es de **pérdidas de 212 kWh/m²**.

Aula Dibujo I Norte-Este

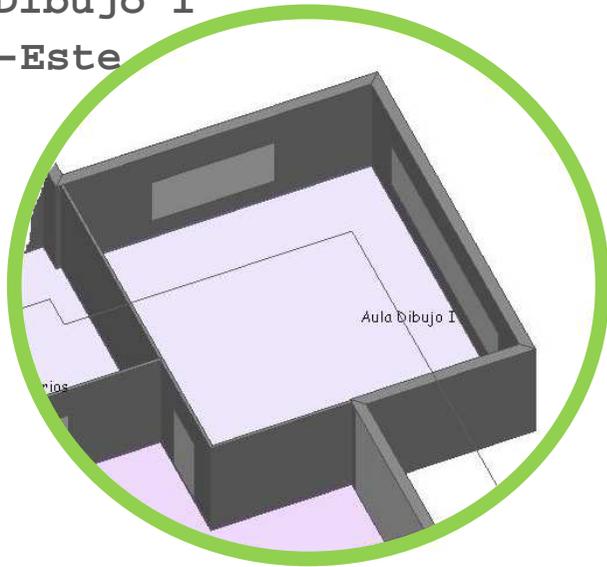


Figura 119: Aula Dibujo I.

Comportamiento-Aula Dibujo I_I

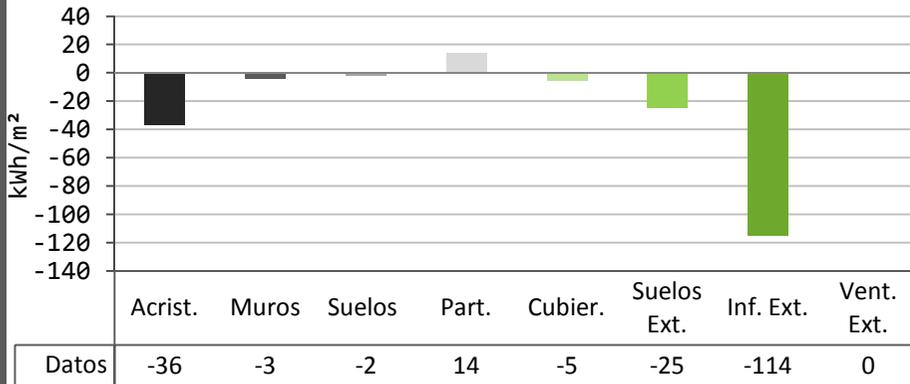


Figura 121: Comportamiento térmico en invierno de Aula Dibujo I.

Ganancias Internas-Aula Dibujo I

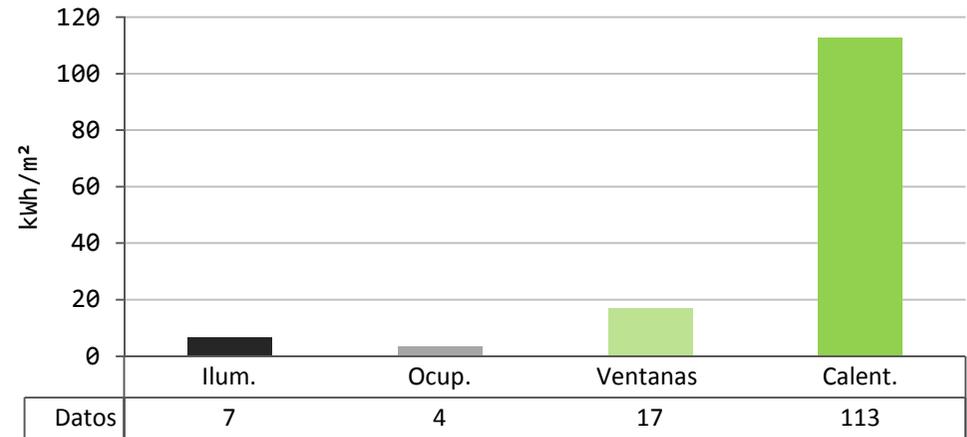


Figura 120: Ganancias internas de Aula Dibujo I.

Comportamiento-Aula Dibujo I_V

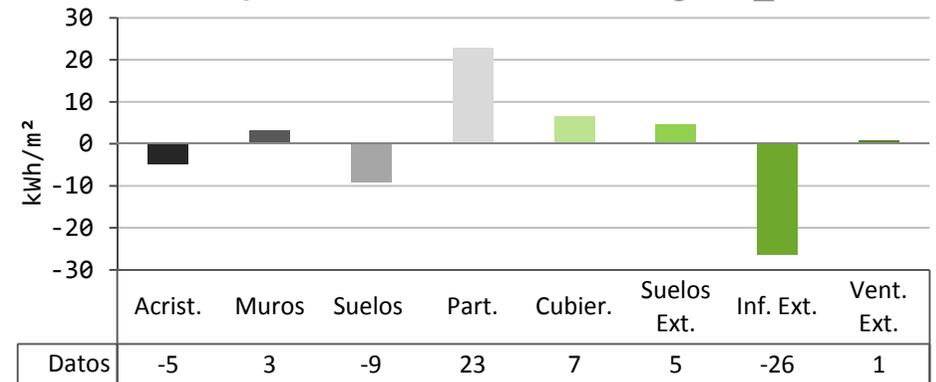


Figura 122: Comportamiento térmico en verano de Aula Dibujo I.

Las Aulas de Dibujo se encuentran en la zona norte del edificio separadas por los seminarios. Estas aulas como puede observarse en la Figura 120 no cuentan con una alta ocupación como ocurre en el resto, ya que su uso a lo largo del día es limitado, solo son ocupadas para clases puntuales y de ahí que no obtengan tantas ganancias por ocupación y por tanto aumenta la demanda de calefacción. En la Figura 121 y 122 se aprecia un comportamiento similar a los observados hasta ahora en el resto de aulas. El resultado de la suma de las pérdidas y ganancias aportados por todos los elementos es de **pérdidas de 172 kWh/m²**.

Aula Dibujo II Norte-Oeste

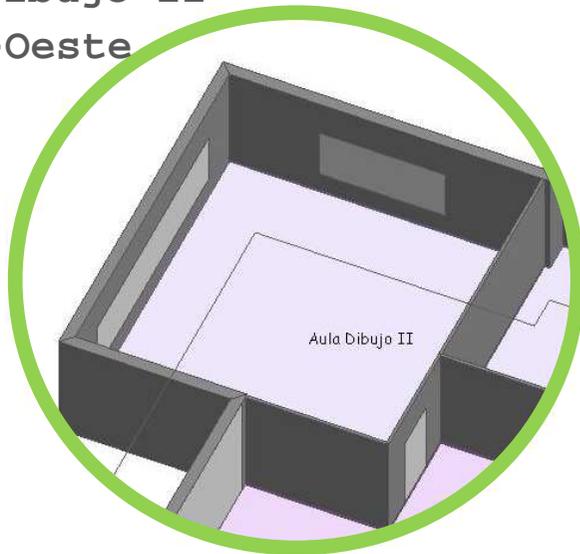


Figura 123: Aula Dibujo II.

Comportamiento-Aula Dibujo II_I

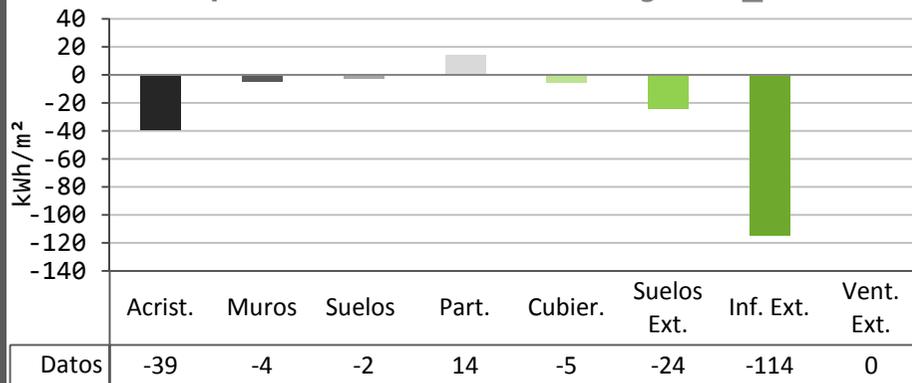


Figura 125: Comportamiento térmico en invierno de Aula Dibujo II.

Ganancias Internas-Aula Dibujo II

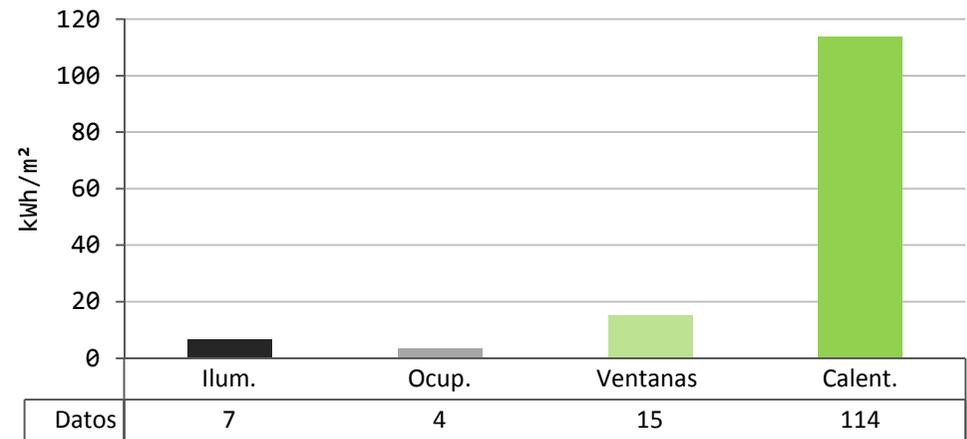


Figura 124: Ganancias internas de Aula Dibujo II.

Comportamiento-Aula Dibujo II_V

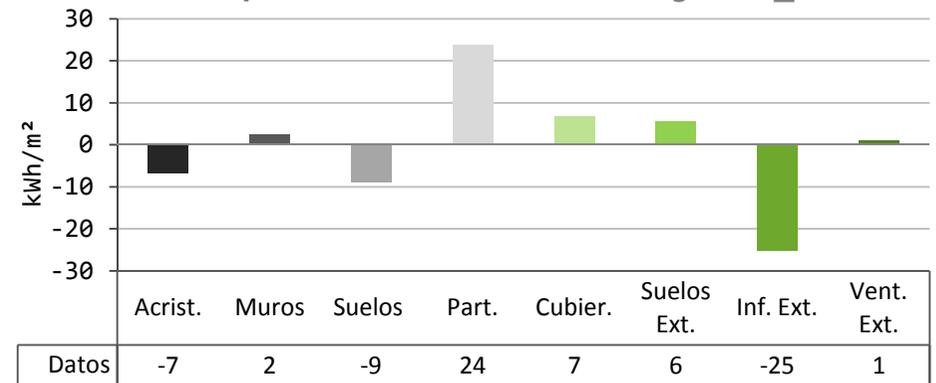


Figura 126: Comportamiento térmico en verano de Aula Dibujo II.

El Aula de Dibujo II cuenta con una situación igual al aula anterior pero simétrica, por lo que como se aprecia en la Figura 124 sus ganancias internas son iguales a excepción de las ganancias solares por ventanas y la demanda de calefacción, que como viene ocurriendo hasta el momento en la orientación oeste, las ganancias solares son ligeramente más bajas y por tanto se demanda más calor. Por otro lado el comportamiento térmico de la estancia, Figura 125 y 126 es igual a los anteriormente comentados, variándose los puntos de forma poco significativa. Por último el resultado de este comportamiento es de **pérdidas de 175 kWh/m²**.

Seminarios Norte

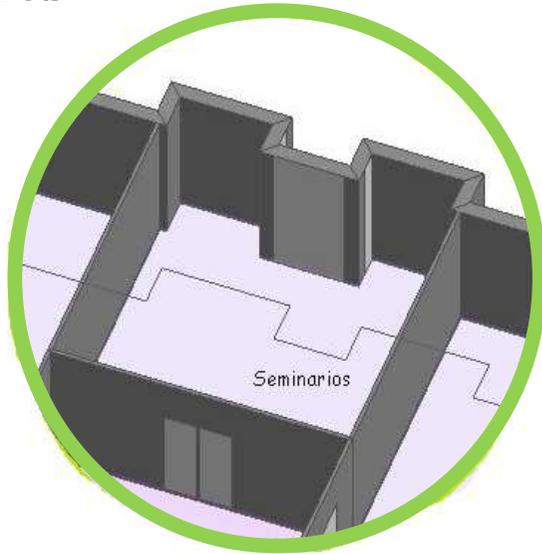


Figura 127: Seminarios.

Ganancias Internas-Seminarios

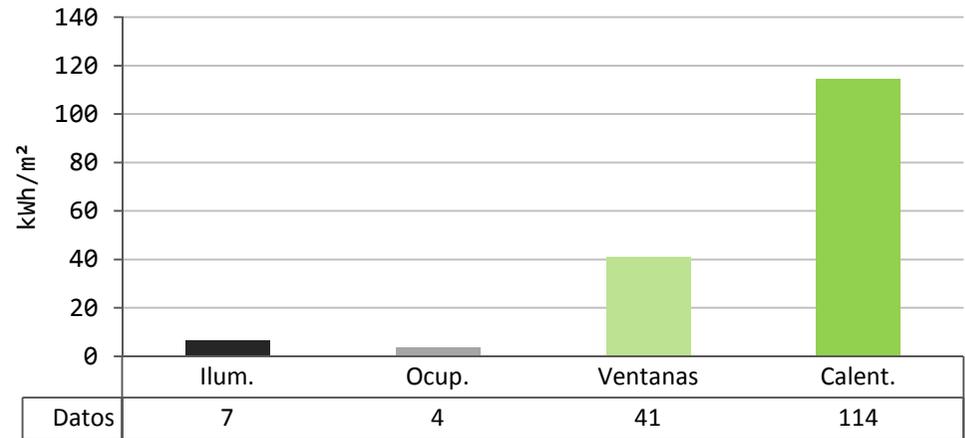


Figura 128: Ganancias internas de Seminarios.

Comportamiento-Seminarios_I

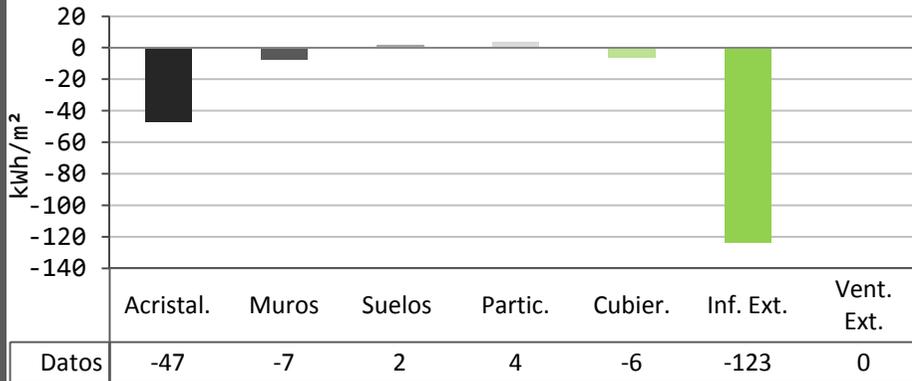


Figura 129: Comportamiento térmico en invierno de Seminarios.

Comportamiento-Seminarios_V

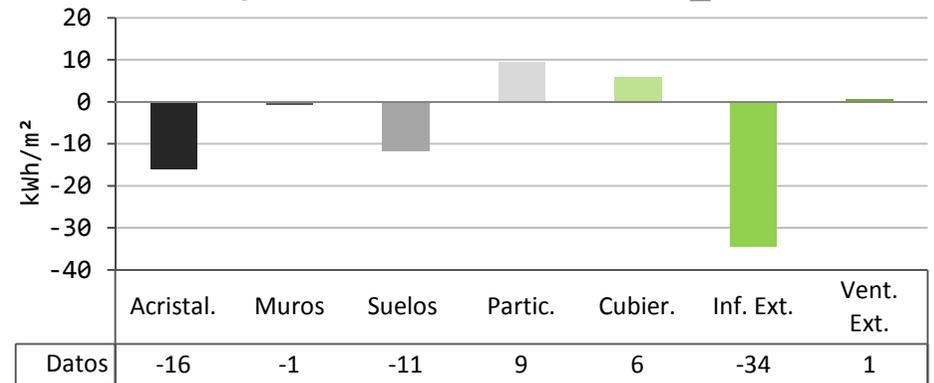
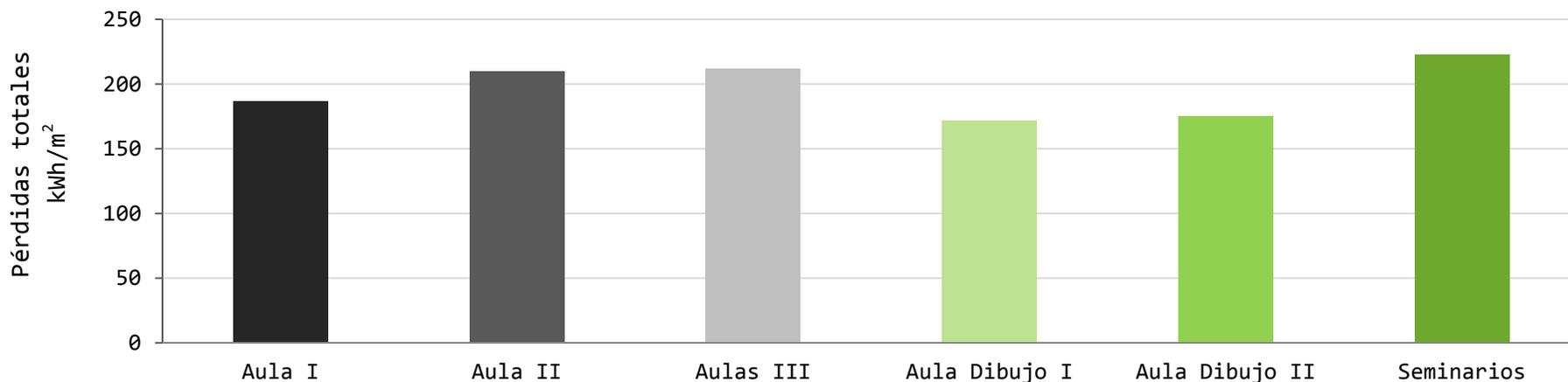


Figura 130: Comportamiento térmico en verano de Seminarios.

Los seminarios son aulas cuya concentración de personas es menor a la de las aulas, así como su horario de ocupación, de ahí que en la Figura 128 no se obtengan tantas ganancias como en casos anteriores. Sin embargo la existencia de ventanales con 3 orientaciones distintas parece que favorecen la recogida de ganancias solares. En la Figura 129 y 130 se encuentra el mismo patrón seguido hasta el momento por los recintos, a pesar de ello destaca la aparición de ganancias de los suelos en invierno ya que la mayoría de aulas se encuentran encima de laboratorios no calefactados y en este caso, se encuentra encima de despachos con climatización, lo cual es beneficioso. El resultado final de la suma de las ganancias y pérdidas es de **pérdidas de 223 kWh/m²**.

Comparativa Aulas



Orientación	Este	Este	Oeste	Norte-Este	Norte-Oeste	Norte
Planta	Segunda	Segunda	Segunda	Segunda	Segunda	Segunda
Pérdidas Totales (kWh/m²)	187	210	212	172	175	223
Calentamiento (kWh/m²)	97	98	96	113	114	114

Figura 131: Comparativa de comportamiento térmico de aulas.

En la Figura 131 se comparan los seis recintos con el uso docente que se encuentran en el edificio y se pueden observar grandes diferencias entre ellas. En primer lugar cabe destacar que el Aula I es la única que cuenta con refrigeración, de ahí que cuente con esa diferencia de pérdidas con respecto a su gemela, Aula II, ya que esta diferencia se achaca a que la temperatura en verano alcanzada en el aula sin climatización provoca que por las noches existan mayores pérdidas. Por otro lado parecen existir diferencias entre las aulas con una sola orientación y con las de dos, esto puede ser debido a la orientación norte de las aulas con doble orientación que consiguen menores pérdidas en verano al no sobrecalentarse tanto. Si se presta atención a las demandas de calefacción son las aulas con orientación norte las que más alta tienen este apartado debido a que su fachada norte tiene mayores pérdidas en invierno.

Pasillo Central

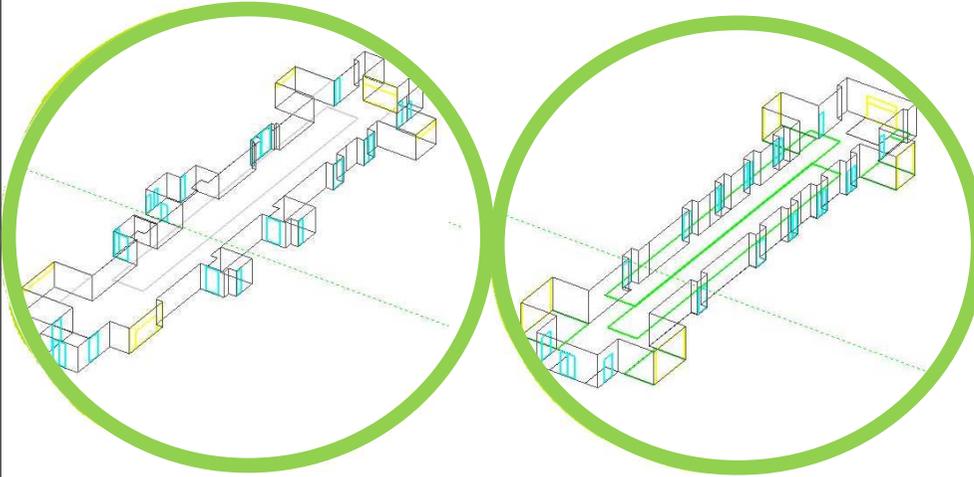


Figura 132: Pasillo Central (2 plantas).

Ganancias Internas-Pasillo Central

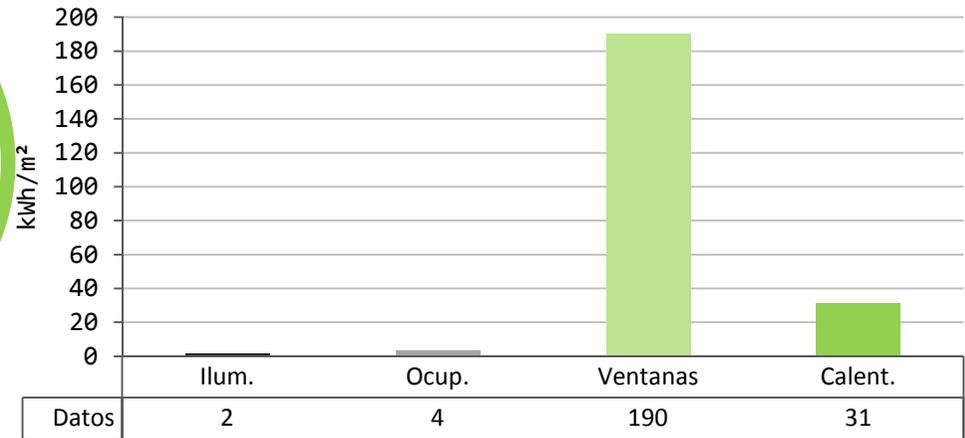


Figura 133: Ganancias internas del Pasillo Central.

Comportamiento-Pasillo Central_I

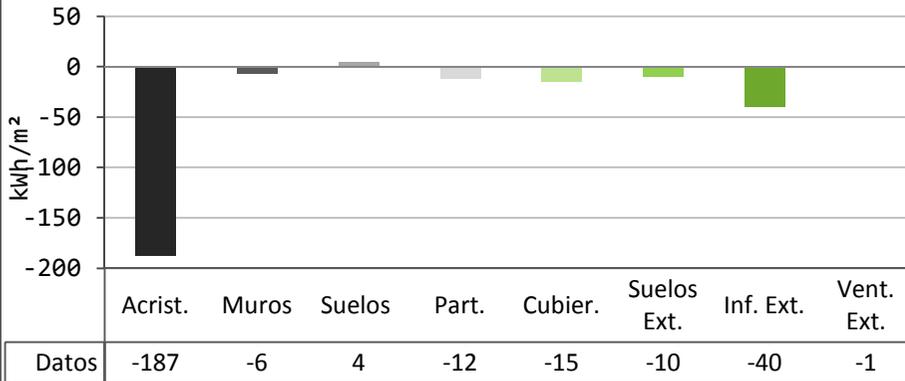


Figura 134: Comportamiento térmico en invierno del Pasillo Central.

Comportamiento-Pasillo Central_V

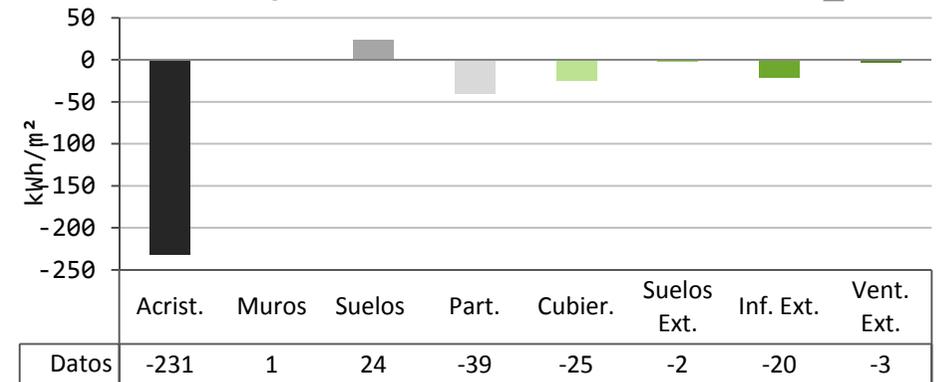


Figura 135: Comportamiento térmico en verano del Pasillo Central.

El pasillo central del pabellón de Arquitectura Técnica es una estancia que cuenta con numerosos huecos que conectan la planta primera con la planta segunda, además de las escaleras de subida y el hueco abierto en cubierta para el lucernario, por ello se ha analizado la estancia en conjunto y como puede apreciarse en la Figura 133, las ventanas y lucernario generan tales ganancias que la demanda de calefacción en este caso se ve muy reducida. En la Figura 134 y 135 se observa un elemento que predomina sobre el resto y que son los acristalamientos, más concretamente el lucernario, estas pérdidas se producen durante las horas sin soleamiento debido a que las ganancias solares aportadas generan mayores temperaturas en el lucernario que por la noche escapan. Por último el comportamiento térmico del pasillo central es de **pérdidas de 562 kWh/m²**.

Plantas



Figura 136: Planta 1.

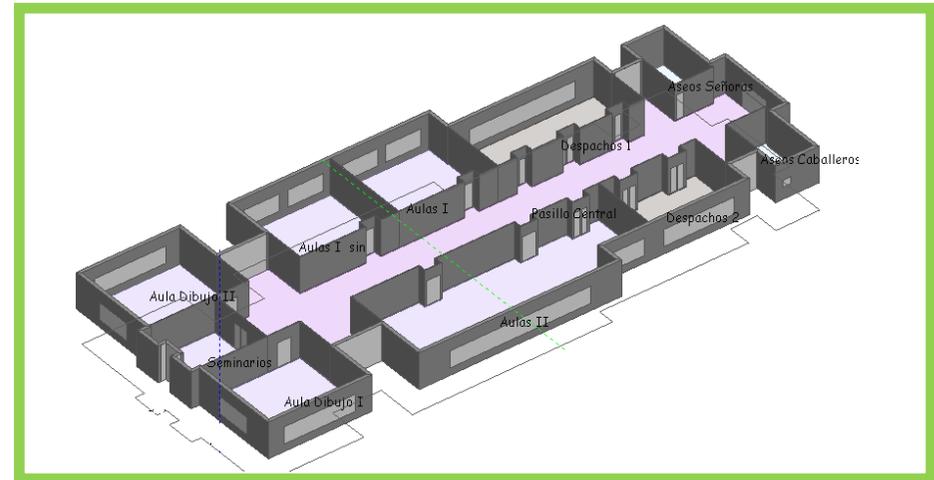


Figura 137: Planta 2.

Ganancias Internas-Planta 1

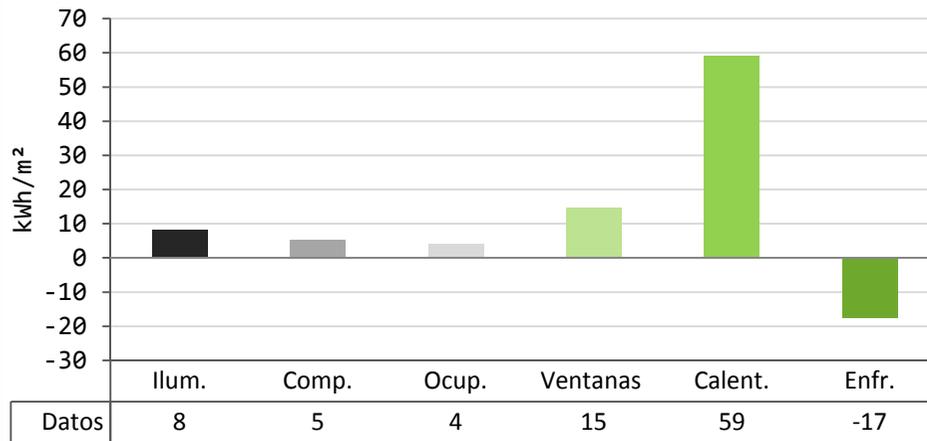


Figura 138: Ganancias internas de Planta 1.

Ganancias Internas-Planta 2

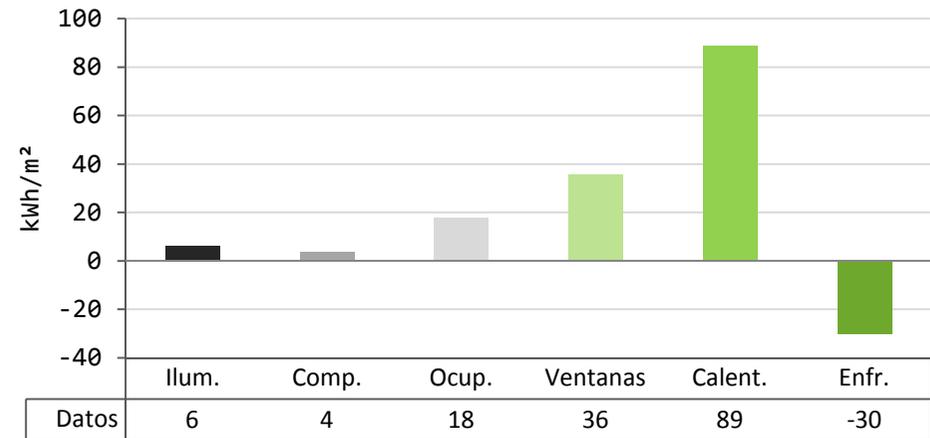


Figura 139: Ganancias internas de Planta 2.

Debido a las diferencias encontradas en las estancias cuya situación en planta es diferente, se hace necesario el análisis del comportamiento térmico de la planta en conjunto. En las Figuras 138 y 139 se puede observar como existen grandes diferencias, la ocupación es mayor arriba ya que es donde se aglomeran los aularios. Las ganancias solares se duplican en segunda planta gracias a la inexistencia de sombras en este lugar y a las enormes ganancias aportadas por el lucernario. En cuanto a las ganancias por calentamiento se ven rebajadas en la planta baja gracias a una mayor superficie de pasillo central, el cual tiene una demanda muy inferior al resto del edificio y por tanto beneficia a la media. Por último el enfriamiento se duplica en segunda planta por el sobrecalentamiento de cubiertas.

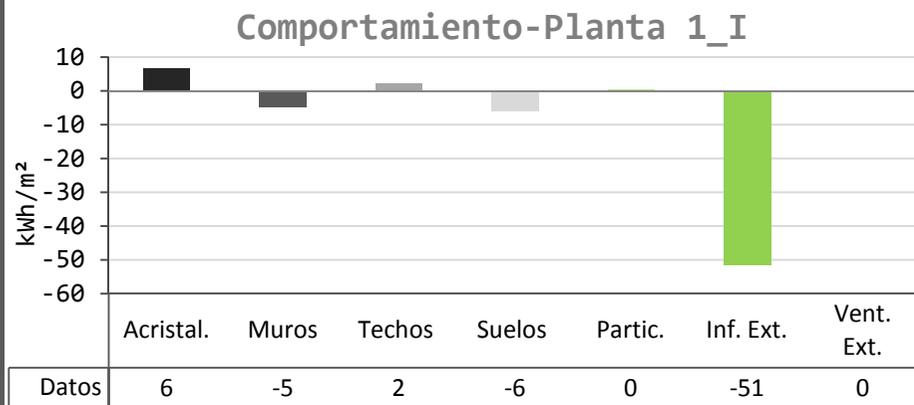


Figura 140: Comportamiento térmico en invierno de Planta

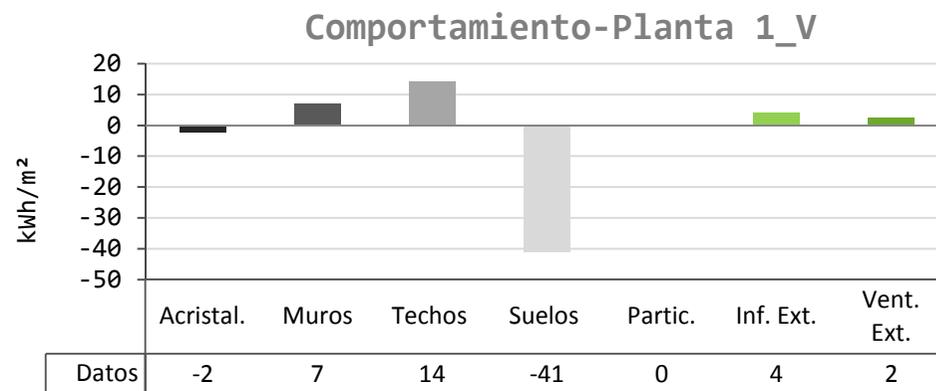


Figura 141: Comportamiento térmico en verano de Planta 1.

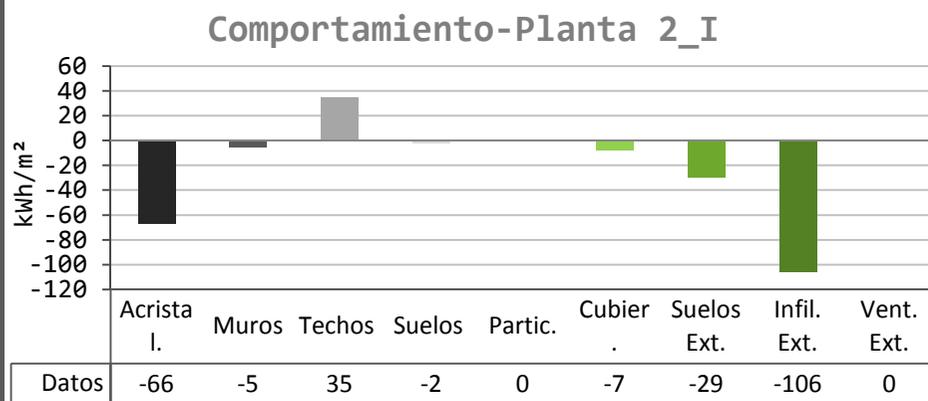


Figura 142: Comportamiento térmico en invierno de Planta 2.

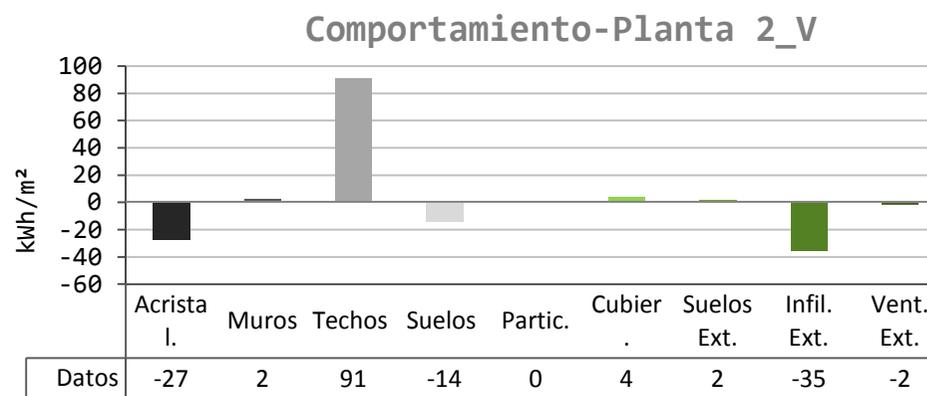


Figura 143: Comportamiento térmico en verano de Planta 2.

Parecen existir comportamientos totalmente diferentes entre plantas a pesar de encontrarse en la misma época. En las Figuras 140, 141, 142 y 143 se aprecia como las menores temperaturas alcanzadas en planta baja por su situación y por la falta de calefacción de los laboratorios provoca que el flujo de calor de los acristalamientos no provoque pérdidas en invierno y muy pocas en verano, sin embargo en la siguiente planta ocurre todo lo contrario al estar totalmente calefactada en invierno y al alcanzar mayores temperaturas en verano. Las diferencias en invierno entre los techos de primera planta y cubierta de la segunda, ya que los techos de segunda planta tienen una superficie poco significativa, muestra otra clara diferencia ocasionándose pérdidas en la planta alta al estar en contacto con el exterior y ciertas ganancias en la inferior por contar con menor superficie calefactada que la otra planta. El comportamiento final en invierno de la primera planta es de **pérdidas de 108 kWh/m²**, teniendo resultados mucho peores la segunda planta alcanzando **pérdidas de 196**

Demanda de calefacción y refrigeración

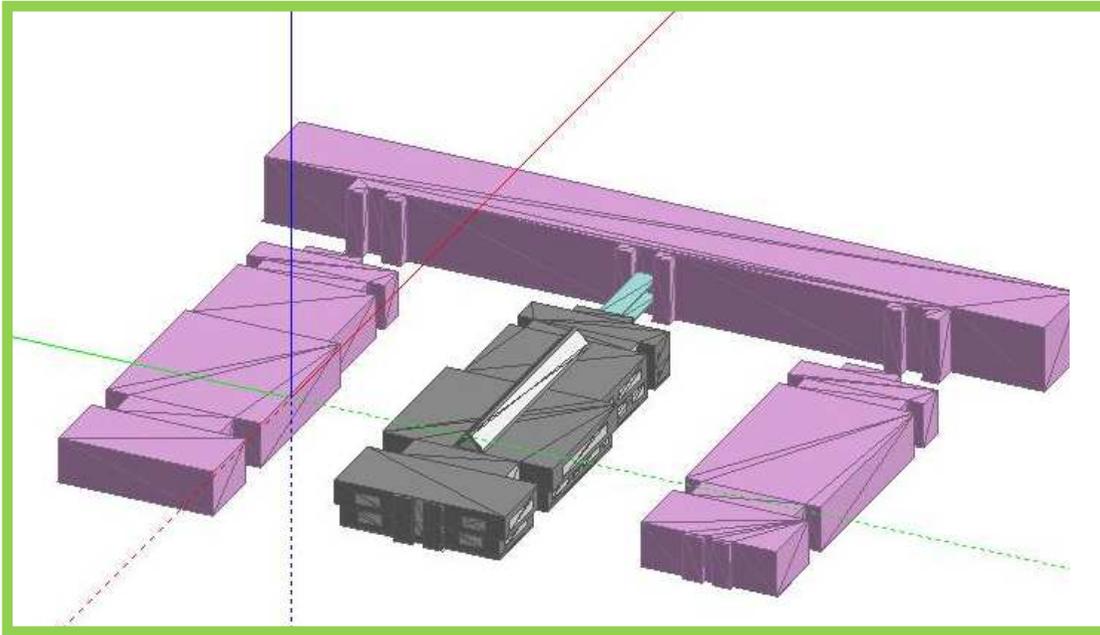


Figura 144: Escuela Politécnica de Cáceres.

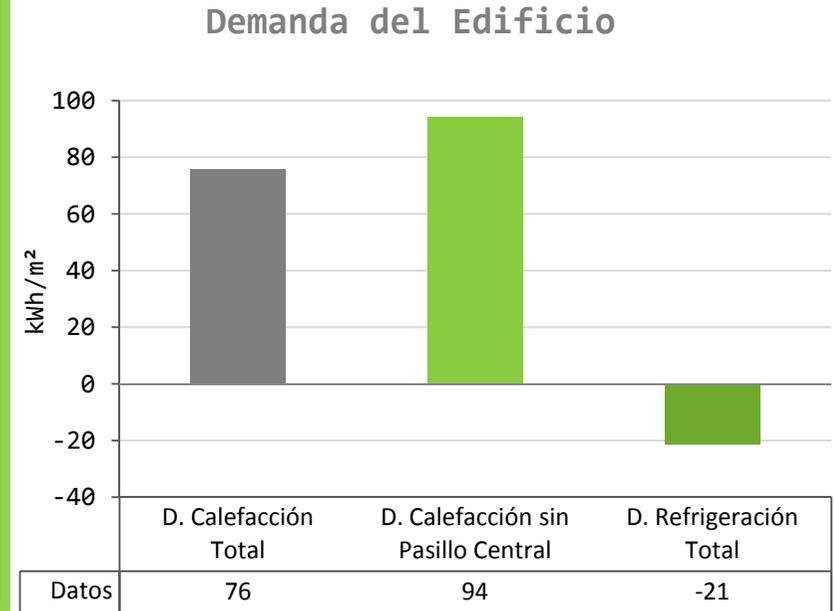


Figura 145: Demandas del Pabellón de Arquitectura Técnica.

Este punto define las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto de análisis, el Pabellón de Arquitectura Técnica, que es el edificio resaltado en color gris de la Figura 144.

Una vez habiéndose analizado la totalidad de estancias del pabellón, incluyéndose las ganancias internas que poseen y su comportamiento térmico en las dos estaciones consideradas, en este apartado se resuelve la demanda total del edificio como se aprecia en la Figura 145. Cabe decir, que estas demandas son por m^2 por lo que en la demanda de calefacción se ha dividido por las estancias calefactadas y en la de refrigeración por las refrigeradas. Tras esta aclaración, se observa en la figura dos demandas, la total y en la que no se encuentra incluida la demanda del pasillo central, esto se debe a que tras el intenso análisis realizado hasta el momento, todas las estancias tienen un comportamiento similar, a excepción del pasillo central que por las ganancias solares que adquiere a través del lucernario, su demanda se ve reducida hasta en un 60 % aproximadamente. Por todo ello incluyendo el pasillo central y su gran superficie, la demanda total se ve reducida a $76 \text{ kWh}/m^2$, dato que no se corresponde con la realidad encontrada ya que la calefacción no se regula por estancias y no se reduce su uso a pesar de las ganancias solares que se aporten, siendo por tanto, más ajustado el dato de $94 \text{ kWh}/m^2$. Finalmente también cabe resaltar una demanda de refrigeración buena para el clima extremeño debido a que la mayoría de las estancias refrigeradas se encuentran en planta baja, la cual no alcanza tan altas temperaturas.

Comportamiento térmico

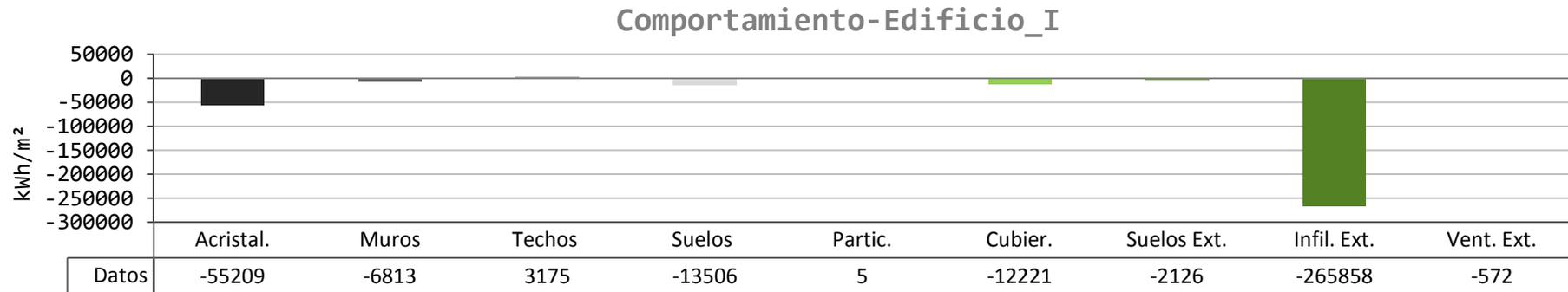


Figura 146: Comportamiento del edificio en invierno.

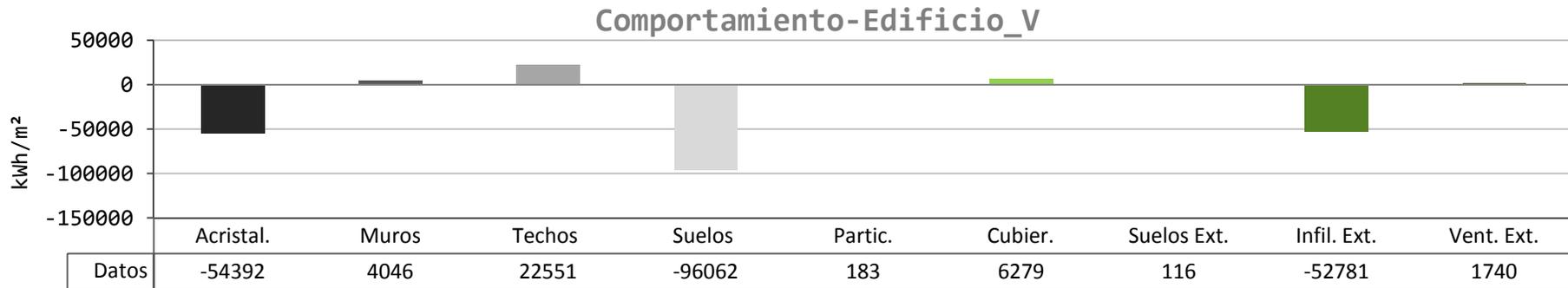


Figura 147: Comportamiento del edificio en verano.

Como se viene haciendo a lo largo de todo el documento, en este apartado (Figura 146 y 147), se analiza el comportamiento en conjunto de la totalidad del edificio, intentándose discernir qué elementos trabajan bien y cuales mal.

Los **acristalamientos** son elementos que siempre generan un puente térmico en el cerramiento, sin embargo las pérdidas varían en función del tipo, siendo muy penalizantes las conseguidas en el período invernal y encontrándose aquí una posible mejora para una rehabilitación. Los **muros** parecen tener un mal comportamiento en los dos períodos debido a la capa de aislamiento con la que cuenta el edificio, a pesar de ello es mejor su comportamiento en verano. Los **techos** (forjados de planta) tienen un buen comportamiento en invierno ya que las plantas superiores aportan a las inferiores ganancias por las mayores temperaturas allí creadas, en cambio en verano esto es negativo y estas ganancias aumentan aún más. Los **suelos** (forjado sanitario) tienen un comportamiento contrario ya que favorecen en verano por sus pérdidas y penalizan en invierno. Las **particiones** tienen un comportamiento neutral ya que apenas generan ganancias. Las cubiertas parecen otro punto a abordar en una posible rehabilitación debido a su mal comportamiento en las dos épocas, sobrecalentando la planta segunda en verano y provocando pérdidas en invierno. Los **suelos exteriores** (voladizos) no trabajan bien al no tener aislamiento y formar un puente térmico que provoca pérdidas en invierno. Por último las **infiltraciones y ventilación** exteriores favorecen la entrada de aire exterior que es buena para la calidad del aire pero no para el confort térmico.

Consumos y emisiones

Consumo del Edificio

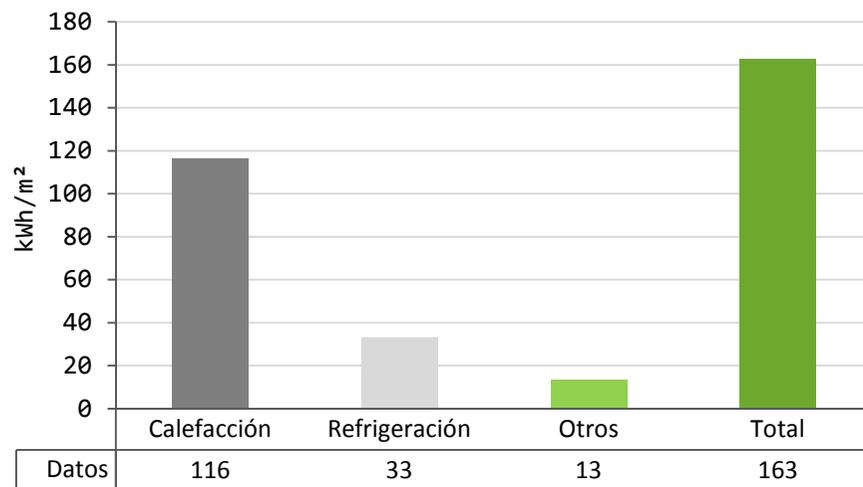


Figura 148: Consumo del edificio.

Emisiones CO₂ del Edificio

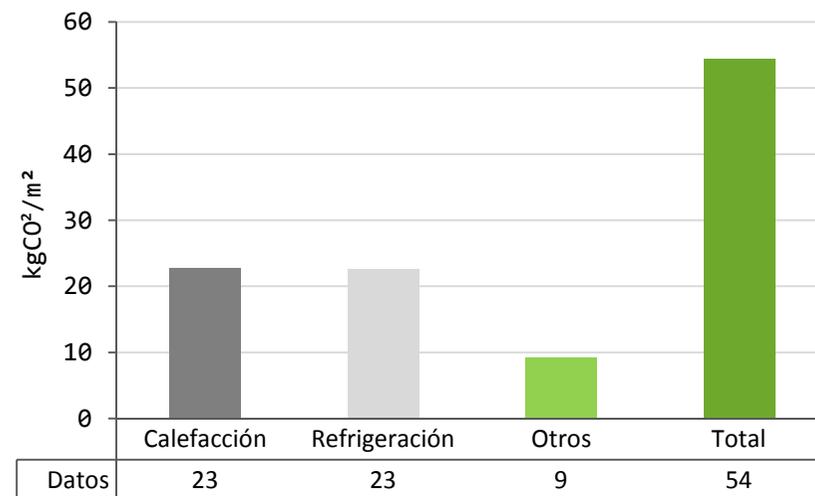


Figura 149: Emisiones de CO₂ del edificio.

En este último apartado se exponen los consumos generados por el edificio, así como las emisiones en kgCO₂/m² en que se convierten.

En la Figura 148 se muestra los consumos procedentes de calefacción, refrigeración y otros elementos del edificio. El consumo de calefacción proviene de gas natural y los de refrigeración y otros de electricidad, englobándose en otros los consumos de iluminación, equipos y misceláneos. Es destacable el gran consumo arrojado por la calefacción, sin embargo hay que tener en cuenta que este dato podría ser aún más alto ya que el consumo varía en función de la demanda y como comentamos con anterioridad la demanda de calefacción en el pasillo central es muy baja por las ganancias térmicas que consigue. Por otro lado esta relación entre calefacción y refrigeración se encuentra en un rango normal para el clima extremeño, dónde el grueso de la problemática de discomfort en los edificios se encuentra en invierno.

En cuanto a las emisiones de CO₂ arrojan que el edificio es muy contaminante por metro cuadrado. Se observa como en la Figura 149 las emisiones procedentes a calefacción y refrigeración se igualan, esto se debe a que la energía utilizada para la refrigeración, la electricidad, es mucho más contaminante y por tanto emite más kg de CO₂ para un número inferior de kWh.

Tras todo esto y para concluir, los kgCO₂/m² que emite el edificio en total suman los 55 kgCO₂/m² por lo que según el documento Certificación energética de edificios, RD 47/2007, actualizado en el RD 235/213, la **calificación energética del edificio es de E**.

04 Conclusiones

01. Conclusiones

1.1 Uso de la escuela

Una primera y clara conclusión es el hecho del ineficiente uso que se le da a la escuela. El desconocimiento por la gran mayoría de usuarios de un adecuado uso de un edificio para evitar el derroche energético, ha provocado que a pesar de las deficiencias constructivas y arquitectónicas con las que cuenta el pabellón, el aprovechamiento de las posibles ganancias aportadas de forma pasiva por el edificio se eviten.

Un escaso uso de los sombreamientos de ventanas y lucernarios, así como de las aperturas de las mismas para su correcta ventilación, y temperaturas de funcionamiento de refrigeración inadecuadas, provocan un gran aumento de la demanda energética, con su consiguiente aumento de consumo y emisiones.

1.2 Análisis del comportamiento térmico del edificio

El análisis del comportamiento térmico del edificio ha dado viva cuenta de las grandes deficiencias con las que se encuentra, concluyéndose de manera abreviada cual es el comportamiento final de cada uno de los factores analizados:

Acristalamientos: en todas las estancias suelen ser elementos con un pésimo comportamiento, las altas transmitancias térmicas ofrecidas por un marco de aluminio sin rotura de puente térmico y un vidrio común 4/6/4, así como la baja estanqueidad que ofrece el sistema de ventanas correderas, provocan al recinto numerosas pérdidas ocasionándole por tanto mayor demanda.

Muros: a pesar de encontrarse en el edificio con un cerramiento común en la mayoría de los edificios, su comportamiento térmico deficiente ya que en invierno genera numerosas pérdidas, mientras que en verano genera ganancias, incrementándose de nuevo la demanda de energía para los dos periodos.

Techos: estos elementos son los forjados interiores, que tienen un buen comportamiento en invierno generando ganancias a las plantas inferiores por las mayores temperaturas generadas en la planta superior al tener mayor superficie calefactada y al contar con las ganancias aportadas por la cubierta. Sin embargo estas ganancias favorables en invierno en relación a las aportadas en verano son muy pequeñas, provocando por tanto que el comportamiento anual del elemento sea negativo.

Suelos: el forjado sanitario parece ser uno de los pocos elementos cuyo acción de forma anual favorece al conjunto ya que a pesar de las pérdidas que genera durante el periodo de invierno y le provoca por tanto una mayor demanda de calefacción, en verano favorece en mayor medida a la planta baja gracias a su efecto refrescante y a las pérdidas que aporta.

Particiones: la tabiquería parece tener un comportamiento neutral, favoreciendo la transmisión de calor de las estancias calefactadas a las no acondicionadas en invierno y de forma contraria en verano.

Cubiertas: este elemento de la envolvente posee una actuación negativa en los dos periodos analizados y por tanto su comportamiento global perjudica al edificio. En invierno provoca un elevado número de pérdidas a la planta alta originándose en verano el efecto contrario, aumentando la temperatura de la planta debido al sobrecalentamiento de la misma.

Suelos Exteriores: los voladizos exteriores creados en algunas estancias de la segunda planta son un puente térmico innegable que provoca una discontinuidad en el aislamiento del edificio favoreciendo una fácil transmisión de calor que ocasiona un punto negativo más en el comportamiento del edificio.

Infiltraciones Exteriores y ventilación exterior: tanto la entrada de aire exterior controlada, como la procedente de grietas y poros son los elementos que más pérdidas generan en invierno al introducir al interior del edificio temperaturas muy inferiores a las allí encontradas debido a la gran envolvente térmica con la que cuenta al ser un edificio totalmente aislado.

En cuanto a las diferencias existentes entre plantas, es evidente que la planta más expuesta es la que más problemas para alcanzar el confort tiene, por tanto la segunda planta tiene mayores pérdidas en invierno y más ganancias en verano.

El factor orientación no parece tener un patrón totalmente definido, aunque sí se ha observado unos ligeros mejores resultados en los recintos situados al este y peores en el oeste. Sin embargo cabe resaltar que la única orientación que apenas tiene recintos y superficie acristalada es la orientación sur, siendo esta la más favorable.

Por último, tras el estudio llevado a cabo, algunas estrategias a abordar en una posible rehabilitación energética serían:

Sustitución de carpinterías por otras con rotura de puente térmico.

Cambio de vidrios por otros de mejor calidad o por vidrios bajo emisivos.

Sombreamiento del lucernario en verano al exterior ya que una vez conseguida la ganancia en el interior, la existencia del toldo no provoca que se disipe ese calor adquirido.

Sombreamiento de cubierta en verano para evitar su sobrecalentamiento.

Ventilación nocturna en verano de lucernario.

Colocación de aislamiento al exterior de los voladizos para eliminar los puentes térmicos creados.

Cada estrategia mencionada en el párrafo anterior se subdivide en otras, ya que existen gran cantidad de tipologías de marcos y vidrios, las ventilaciones pueden tener diferentes horarios, distintos espesores de aislamiento..etc. Por tanto en primer lugar se deben desarrollar todas estas simulaciones en el software informático Design Builder para comprobar cuales son las mejoras aportadas por cada una de las estrategias y así discernir cuál de ellas consigue un mejor comportamiento del edificio.

En siguiente lugar se deberá plantear la solución constructiva detallada de la estrategia a implantar, ya que determinadas soluciones constructivas pueden provocar un mal funcionamiento de la estrategia como puede ser la creación de puentes térmicos en la colocación del aislamiento.

Tras ello se necesitará desarrollar un estudio económico de cada una de las soluciones aportadas para poder generar los retornos económicos y así observar que estrategia se amortiza de forma más rápida.

Una vez obtenidos los resultados de mejora energética procedentes del simulador y las amortizaciones económicas de cada una de las estrategias, se deberá escoger cuál de ellas es la más adecuada para implantar en la realidad habiéndose tenido en cuenta todos los factores.

Finalmente tras la puesta en obra de la estrategia, así como los elementos de inmótica necesarios para controlar que se obtienen los resultados esperados por esa solución, se conseguirá un ahorro energético y económico.

1.3 Demanda, consumos y emisiones

Las demandas totales obtenidas en el edificio rondan los 100 kWh/m² un dato muy alto que revela las altas deficiencias encontradas en el edificio favorecido por el mal comportamiento de la práctica totalidad de los elementos estudiados, el tratarse de un edificio totalmente aislado, así como una mala distribución arquitectónica. Una mejor distribución de usos, como por ejemplo el cambio de situación de las aulas, quizás deberían hallarse en planta baja ya que las ganancias por ocupación son mucho mayores, por lo que se conservarían mejor en invierno y no se contribuirían a alcanzar grandes temperaturas en verano.

A pesar de ello este dato comparado con el que obtendríamos en otros simuladores energéticos como Calener VyP es inferior, ya que Design Builder tiene en cuenta para la demanda el resto de ganancias aportadas por ocupación, iluminación, ordenadores y solares, reduciéndose por tanto las demandas.

Por otro lado los consumos se incrementan en gran medida debido a los bajos rendimientos considerados para la calefacción y la refrigeración. La distribución de consumos de calefacción y refrigeración se encuentra con la relación habitual para el clima extremeño, dónde el grueso de la problemática de discomfort en los edificios se encuentra en invierno.

Finalmente las emisiones son claramente penalizadas por el gran uso de la electricidad en el edificio, ya que aparte de los usos para iluminación, ordenadores, etc, la refrigeración es conseguida a través de este tipo de energía que es uno de los más contaminantes. La letra conseguida según el documento Certificación energética de edificios, es de “E” lo que demuestra que el edificio es altamente ineficiente energéticamente y que existe un amplio campo que abordarse para que se convierta en un edificio sostenible.

1.4 Futuras líneas de investigación

Una vez concluido el estudio, parece que existen numerosos trabajos:

- Estudio de las estrategias pasivas mencionadas con anterioridad para una rehabilitación energética del edificio.

En esta futura línea se considera que se deberá desarrollar las posibles estrategias a implantar, escogiéndose los tipos de marcos y vidrios a estudiar, tipos de aislamiento térmico su situación y los espesores, los distintos horarios de apertura de acristalamiento, elección de la tipología de sombreamientos a utilizar y sus materiales...etc.

Por otro lado se haría necesario el estudio de la solución constructiva adecuada para implantar estas estrategias para que su comportamiento sea el más adecuado, así como el estudio económico de cada una de las estrategias y sus amortizaciones.

Una vez obtenido todos los factores se conseguiría una visión clara de las mejores soluciones en todos los aspectos para la proposición de una eficiente rehabilitación energética.

- Estudio del cambio de usos dentro del edificio para la disminución de demandas.

Se considera interesante un estudio de la posible redistribución de usos del edificio ya que habiéndose observado una primera planta con mejor comportamiento y menores pérdidas, un mayor uso de esta planta con mayor ocupación como es el caso de las aulas, podría provocar una disminución de la demanda en esta planta. Además la segunda planta al alcanzar mayores temperaturas en verano y las mayores ganancias aportadas por la gran ocupación de la planta provoca unos mayores aumentos de temperatura que penalizan.

Por todo ello las simulaciones de las posibles distribuciones del edificio puede aportarnos mejoras en las demandas por un simple cambio de uso.

- Estudio de medidas para el mejor uso por parte de los usuarios del edificio.

Habiéndose observado un deficiente uso del edificio, en especial del uso de los sombreamientos, apertura de huecos y uso de los equipos de climatización, se considera oportuno el desarrollo de un estudio de las medidas necesarias para la obtención de un uso eficiente del edificio.

Este estudio puede orientarse a medidas conseguidas por parte de los trabajadores de conserjería del edificio, pudiendo desarrollarles horarios para asegurarse de conseguir los sombreamientos y aperturas de huecos a las horas que mejores resultados obtengan en los simuladores.

Por otro lado se puede optar por la inmótica del edificio incorporando la mecanización de sombreamientos o el control eficiente de la totalidad de los equipos de climatización, no dejándose el uso de estos elementos a personas que desconocen un uso adecuado del edificio.

- Estudio comparativo entre datos obtenidos en Design Builder y el resto de simuladores energéticos.

Tras el estudio del edificio con el simulador Design Builder, se ha constatado la cantidad de detalles que se introducen obteniéndose unos resultados que se ajustan bastante a la realidad. Una vez observado esto y habiéndose trabajado con anterioridad con el resto de simuladores energéticos reconocidos por el gobierno español para la calificación energética se encuentran enormes diferencias.

Por ello se plantea un estudio que recoja el nivel de precisión que se es capaz de conseguir por cada uno de los simuladores energéticos y observar cómo afecta esto a los resultados que se obtienen, pudiéndose comparar incluso a un caso real donde se obtengan facturas reales y comparar cual se ajusta más a ellos.

- Estudio comparativo entre datos de simulación y datos reales procedentes de la sensorización de la escuela.

Para la total validación de los resultados obtenidos por parte del simulador, se plantea necesario la sensorización del edificio. No existe la necesidad de la total sensorización de las estancias, por ello a continuación se desarrolla de los lugares y sensores necesarios para la comparación con las simulaciones.

Sensores de temperatura y humedad: se harán necesarios en las estancias con distintos usos, es decir, aulas, despachos, laboratorios, aseos, accesos, salas y pasillo central. Para la elección de cuál de ellos deben estar sensorizados, se contará con las variables de orientación y planta, estancias climatizadas y las no acondicionadas.

Sensores para cálculo de ocupación: para poder definir la ocupación exacta y horario de funcionamiento de las estancias se deberán instalar sensores de conteo de personas a la entrada de al menos una estancia por cada uso previsto.

Sensores de radiación solar: uno de los factores más importantes a la hora del establecimiento de la demanda fue la radiación solar adquirida por las ventanas, por lo que se hace indispensable la colocación de medidores de radiación solar en las 4 orientaciones del edificio, las dos plantas por si existieran sombras generadas por los edificios de informática y obras públicas, y en al menos 3 puntos a lo largo de la longitud predominante del edificio, por las sombras que pudiera causar el pabellón de servicios comunes.

Sensores de medición de infiltraciones: para el control de las pérdidas por infiltraciones exteriores se instalarán esta tipología de medidores como mínimo uno en cada orientación, en cada una de las plantas, y en al menos estancias climatizadas y no acondicionadas ya que al no contar con las mismas temperaturas se consiguen infiltraciones diferentes.

Sensores de sombreamiento: esta tipología de sensores son simplemente de control para asegurarse de que el sombreamiento del hueco se hace a la hora indicada, debido aún a la inexistencia de persianas automáticas.

Sensores de apertura de huecos: de nuevo estos sensores son de control debido a la inexistencia de automatización, la inspección de apertura de huecos se hace necesaria para conseguir las renovaciones de aire a la hora necesarias en cada estancia.

Sensores de iluminación: se deberá hacer un estudio para mejorar la eficiencia en la iluminación, para ello se controlará la iluminación existente con los sensores en al menos una estancia por cada uso, ya que en cada uso se debe obtener unos lux determinados, incluyéndose la variable de orientación y planta que influyen significativamente en la iluminación.

Además de todo ello se deberá controlar las temperaturas de los sistemas de refrigeración, así como conseguir el rendimiento actual de las instalaciones de calefacción y refrigeración.

Por último y una vez ajustado la totalidad del modelo a la realidad, se procederá al bucle de medir-simular-medir e ir probando así diferentes estrategias para conseguir el consiguiente ahorro energético y económico.

05 Referencias bibliográficas

- [1] Lecuona Neumann, A., Izquierdo Millán, M., & Rodríguez Aumente, P. A. (2005). Investigación e impacto ambiental de los edificios. *La Energía. Informes de la Construcción*, 57(498), 47-61.
- [2] CONEER'05. (1998) Congreso Nacional sobre las Energías Renovables, CEMACAM. *World Energy Council*.
- [3] Comisión Europea (2001). Libro Verde Hacia una Estrategia Europea de Seguridad del Abastecimiento Energético, Luxemburgo, ISBN 9289403160.
- [4] IDAE 2004. Eficiencia Energética y Energías Renovables nº 6 de «Informes IDAE».
- [5] Isbell, P. (2006). La dependencia energética y los intereses de España. *Análisis del Real Instituto Elcano (ARI)*, (32), 1.
- [6] CJN Consultores (2002). Consumo energético y crecimiento económico. Comisión Nacional de la Energía y Club Español de la Energía.
- [7] Sánchez, Á. C., García, M. F., & Saguar, P.D. (2013). Análisis de las emisiones asociadas al sector energético en España. *Estudios de Economía Aplicada*, 31(1), 151-170.
- [8] <http://www.energiaysociedad.es/ficha/objetivos-y-normativa-en-espana-de-la-eficiencia-energetica>. Mayo 2014.
- [9] Puppo, E. (1980). *Un espacio para vivir*.
- [10] PR Mondelo, M Universal. (1999). *Ergonomía 2: confort y estrés térmico*. Edicions UPC.
- [11] Simancas Yovane, K. (2003). Reacondicionamiento bioclimático de viviendas de segunda residencia en clima mediterráneo.
- [12] Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid (2009). *Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas*. Madrid, Fundación de la Energía de la Comunidad de Madrid.

- [13] M.S. Al-Homoud. (2005). Performance characteristics and practical applications of common building thermal insulation materials. *Building and Environment*. 40. 351–364.
- [14] Bakos, G. C. (2000). Insulation protection studies for energy saving in residential and tertiary sector. *Energy and buildings*, 31(3), 251-259.
- [15] Di Perna, C., Stazi, F., Casalena, A. U., & D’Orazio, M. (2011). Influence of the internal inertia of the building envelope on summertime comfort in buildings with high internal heat loads. *Energy and buildings*, 43(1), 200-206.
- [16] Ozel, M. (2013). Determination of optimum insulation thickness based on cooling transmission load for building walls in a hot climate. *Energy Conversion and Management*, 66, 106-114.
- [17] Simmler, H., & Binder, B. (2008). Experimental and numerical determination of the total solar energy transmittance of glazing with venetian blind shading. *Building and Environment*, 43(2), 197-204.
- [18] Jorge, J., Puigdomenech, J., & Cusido, J. A. (1993). A practical tool for sizing optimal shading devices. *Building and Environment*, 28(1), 69-72.
- [19] Zinzi, M., Carnielo, E., & Agnoli, S. (2012). Characterization and assessment of cool coloured solar protection devices for Mediterranean residential buildings application. *Energy and Buildings*, 50, 111-119.
- [20] Guerra Santin, O., Itard, L., & Visscher, H. (2009). The effect of occupancy and building characteristics on energy use for space and water heating in Dutch residential stock. *Energy and buildings*, 41(11), 1223-1232.
- [21] Roetzel, A., Tsangrassoulis, A., Dietrich, U., & Busching, S. (2010). A review of occupant control on natural ventilation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(3), 1001-1013.
- [22] Tiscornia, E., Defelippe, & A. Dómotica: La vida inteligente.

- [23] Brenes, J.E. (2011). Diseño y desarrollo de un sistema de domótica para la empresa tecnológica de costa rica S.A.
- [24] Alférez, A. A. R. (2009). Automatización, programación, sistematización y tecnología de punta. Seminario sobre docencia en Diseño Construcción.
- [25] León, C., Damara, I. (2011). Domótica e inmótica: viviendas y edificios inteligentes.
- [26] <http://smartpolitech.unex.es/> Junio 2014.
- [27] Martínez Lopezosa, A. (2013). Rehabilitación energética de edificios de viviendas en el clima mediterráneo. Proyecto Fin de Máster.
- [28] Hornero Pérez, R. (2013). Estudio de la ventilación natural en un edificio y su efecto en el grado de confort de los ocupantes. Proyecto Fin de Máster.
- [29] Córdova, C. (2011). Estudio de tecnologías para la reducción del consumo energético destinado a confort térmico para el edificio de ingeniería civil. Proyecto Fin de Carrera.
- [30] Fernández, Y. G. (2010). Rehabilitación energética en edificaciones de más de 30 años mediante el uso de recursos informáticos: aplicación a una edificación ubicada en la provincia de Pontevedra. Proyecto Fin de Máster.
- [31] Jiménez, V. (2011). Análisis comparativo de la demanda energética de un edificio en zonas climatológicas distintas. Proyecto Fin de Carrera.
- [32] Cuesta, D. (2013). Caso práctico. Red de calor en el campus de la institución SEK en Villafranca del Castillo (Universidad Camilo José Cela). In *Anales de mecánica y electricidad* (Vol. 90, No. 4, pp. 68-71). Asociación de Ingenieros del ICAI.

- [33] Benedito-Bordonau, M., Gargallo, D., Avariento, et al. (2009). UJI Smart Campus.
- [34] Moreno, M. V., Zamora, M. A., & Skarmeta, A. F. (2014). User-centric smart buildings for energy sustainable smart cities. *Transactions on Emerging Telecommunications Technologies*, 25(1), 41-55.
- [35] <http://designbuilder.cl/design-caract.php> Junio 2014.
- [36] Graells Bernaus, E. (2012). Estratègies De Ventilació Per a Millorar L'estalvi Energètic. Aplicació al Prototip LOW3 basat en una doble envoltent tipus hivernacle. Proyecto Fin de Grado.
- [37] Martín Berra, X. (2011). Ganando oportunidades de confort. Proyecto Fin de Máster.
- [38] Dias Bordalo, H. (2010). Estrategias de ventilación natural para la mejora de la eficiencia energética en edificio. Proyecto Fin de Máster.
- [39] Valle, C. (2009). Estudio para la rehabilitación de la Escuela Politécnica.
- [40] CTE. Código Técnico de la Edificación. (2013). Documento Básico HE. Ahorro de energía. HE 1 Limitación de demanda energética.
- [41] <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn251.html>. Junio 2014.