

Trabajo Fin de Grado

ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO
TÉRMICO DEL EDIFICIO LORENZO NORMANTE:
ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS PARA SU
MEJORA

STUDY AND ANALYSIS OF THE THERMAL
BEHAVIOUR OF THE LORENZO NORMANTE
BUILDING: ARCHITECTURAL ESTRATEGIES FOR ITS
IMPROVEMENT.

Autora

Irene Roche Berdejo

Directora/Codirector

Marta Monzón Chavarrías / Enrique Cano Suñen

Universidad de Zaragoza/Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2021



DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y ORIGINALIDAD

(Este documento debe remitirse a seceina@unizar.es dentro del plazo de depósito)

D./D^a. Irene Roche Berdejo

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

Declaro que el presente Trabajo de Fin de Estudios de la titulación de Grado en estudios en Arquitectura (Título del Trabajo)

ESTUDIO Y ANÁLISIS DEL COMPORTAMIENTO TÉRMICO DEL EDIFICIO LORENZO NORMANTE: ESTRATEGIAS ARQUITECTÓNICAS PARA SU MEJORA

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

Zaragoza, 25/11/2021

ROCHE
BERDEJO
IRENE -
73132748
Q

Firmado digitalmente por
ROCHE BERDEJO IRENE -
73132748Q
DN: C=ES,
SERIALNUMBER=IDCES-731
32748Q, G=IRENE,
SN=ROCHE BERDEJO,
CN=ROCHE BERDEJO IRENE
- 73132748Q
Razón: Soy el autor de este
documento
Ubicación: la ubicación de su
firma aquí
Fecha: 2021.11.25
19:28:47+01'00'
Foxit PDF Reader Versión:
11.1.0

Fdo: Irene Roche Berdejo

ÍNDICE

Resumen.....	16
Abstract	17
Agradecimientos	18
Motivación	19
Objetivos y metodología	20
Introducción	21
1. Cambio climático y arquitectura	21
2. Evolución de la Normativa	23
3. La Universidad de Zaragoza y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).....	32
Edificio Lorenzo Normante.....	35
4. Descripción arquitectónica	37
5. Descripción estructural	42
6. Descripción constructiva	44
7. Análisis de consumo.....	53
7.1 Contexto energético.....	53
7.2 Datos obtenidos de SCADA	57
7.3. Consumo eléctrico.....	61
8. Normativa de aplicación relativa a la eficiencia energética: NBE-CT-79	67
9. Normativa actual para la rehabilitación energética de edificios no residenciales (CTE 2019_DB HE).....	72
10.Modos y aproximación de pérdida de calor en la edificación.	78
11.Transmitancia de los elementos de la envolvente térmica	80
12.Estrategia 1: mejora de los elementos de la envolvente térmica.....	90

14.Estrategia 2: puentes térmicos	95
15.Descripción del sistema de climatización y ventilación	105
16.Estrategia 3: Control del sistema de ventilación.....	113
17.Estrategia 4: Iluminación.....	117
18.Conclusión.....	118
BIBLIOGRAFÍA.....	121
ANEXO 1: Cálculo de las transmitancias térmicas según NBE-CT-79	128

INDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: Importancia del petróleo en los países de la Unión Europea. Fuente: Tesis doctoral José Manuel Castro Vázquez.....	24
Ilustración 2: Retos estratégicos de la Universidad de Zaragoza 2002-2005.....	32
Ilustración 3: Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Oficina verde, UNIZAR	33
Ilustración 4: Fotografía exterior de edificio Lorenzo Normante. Fuente: Elaboración propia..	35
Ilustración 5: Fotografía de la placa conmemorativa de la inauguración del edificio Lorenzo Normante.	35
Ilustración 6: Fotografía exterior acceso sur al edificio Lorenzo Normante. Fuente: Elaboración propia	36
Ilustración 7: Plano de emplazamiento. Fuente. Elaboración propia	37
Ilustración 8: Imagen aérea del edificio Lorenzo Normante. Fuente: Google Earth.....	37
Ilustración 9: Planta sótano. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales.	38
Ilustración 10: Planta baja. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	39
Ilustración 11: Planta primera. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	40
Ilustración 12: Planta segunda. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	41
Ilustración 13: Planta tercera. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	41
Ilustración 14: Plano cimentaciones. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	42
Ilustración 15: Planta estructural sótano. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	43
Ilustración 16. Planta baja estructural. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales	43
Ilustración 17: Esquema ubicación de muros pantalla. Fuente: elaboración propia.....	44
Ilustración 18: Esquema del sistema constructivo del muro de sótano. Fuente: Elaboración propia	44
Ilustración 19: Esquema ubicación solera. Fuente: Elaboración propia	44
Ilustración 20: Esquema del sistema constructivo de la solera. Fuente: Elaboración propia.....	44
Ilustración 21: Esquema del sistema constructivo del forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia	45

Ilustración 22: Esquema ubicación forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia	45
Ilustración 23: Esquema del sistema constructivo de la fachada revestida de ALUCOBOND. Fuente: Elaboración propia	46
Ilustración 24: Esquema ubicación fachada ALUCOBOND. Fuente: Elaboración propia	46
Ilustración 25: Esquema ubicación fachada G.R.C sobre pantalla de hormigón. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 26: Esquema del sistema constructivo de la fachada de G.R.C. sobre pantalla de hormigón. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 27: Esquema ubicación fachada G.R.C sobre pared de termoarcilla. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 28: Esquema del sistema constructivo de la fachada de G.R.C. sobre pared de termoarcilla. Fuente: Elaboración propia.....	47
Ilustración 29: Esquema ubicación cubierta. Fuente: Elaboración propia.....	48
Ilustración 30: Esquema del sistema constructivo de la cubierta. Fuente: Elaboración propia .	48
Ilustración 31: Esquema ubicación parte ciega lucernario. Fuente: Elaboración propia	49
Ilustración 32: Esquema del sistema constructivo de la parte ciega del lucernario. Fuente: Elaboración propia.....	49
Ilustración 33: Esquema ubicación forjado. Fuente: Elaboración propia	50
Ilustración 34: Esquema del sistema constructivo del forjado. Fuente: Elaboración propia.....	50
Ilustración 35: Esquema del sistema constructivo del tabique de 30cm.....	51
Ilustración 36: Esquema ubicación tabique 30cm. Fuente: Elaboración propia	51
Ilustración 37: Esquema del sistema constructivo del tabique de 20cm.....	51
Ilustración 38: Esquema ubicación tabique 20cm. Fuente Elaboración propia	51
Ilustración 39: Esquema del sistema constructivo del tabique de cartón-yeso.	52
Ilustración 40: Esquema ubicación tabique cartón-yeso. Fuente: Elaboración propia.....	52
Ilustración 41: Calendario laboral de marzo de 2021 según Universidad de Zaragoza. Fuente: Elaboración propia.....	59
Ilustración 42: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.b - HE0	72
Ilustración 43: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.2.b - HE0	72
Ilustración 44: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.1.a - HE1	73

Ilustración 45: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.1.a - HE1	75
Ilustración 46: Recorte del DB HE 2019. Tabla a-Anejo E	75
Ilustración 47: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.2 - HE1	76
Ilustración 48: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.3.a - HE1	77
Ilustración 49: Esquema indicativo de la envolvente térmica en planta y sección. Fuente: Elaboración propia.....	80
Ilustración 50: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 1	81
Ilustración 51: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 2	82
Ilustración 52: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de bandejas de ALUCOBOND	84
Ilustración 53: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de G.R.C. sobre pantalla de hormigón.....	84
Ilustración 54: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de G.R.C. sobre pared de termoarcilla	85
Ilustración 55: Cálculo de la transmitancia térmica de la cubierta según DA DB HE/1.	85
Ilustración 56: Cálculo de la transmitancia térmica del lucernario (parte ciega-muro) según DA DB HE/1.	86
Ilustración 57: Cálculo de la transmitancia térmica del lucernario (parte ciega-cubierta) según DA DB HE/1.	86
Ilustración 58: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 6	87
Ilustración 59: Cálculo de la transmitancia térmica del forjado entre el sótano y la planta baja según DA DB HE/1. Fuente: Elaboración propia	87
Ilustración 60: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 7	88
Ilustración 61: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 9	89
Ilustración 62: Esquema del funcionamiento de la fachada ventilada.	91
Ilustración 63: Esquema básico de sistema SATE. Fuente: IDAE.....	91
Ilustración 64: Vista general de los tres módulos de ensayo. Fuente: Carmen Alonso Ruiz-Rivas	92
Ilustración 65: Materiales aislantes para fachada SATE: Fuente: www.fachadasate.com	93
Ilustración 66: Puente térmico por continuación de fachada sin aislamiento.	95

Ilustración 67: Puente térmico por viga sin aislar.....	95
Ilustración 68: Puente térmico forjados y pilares sin aislar. Fuente: Elaboración propia.....	96
Ilustración 69: Puente térmico vigas y pilares de hormigón armado sin aislar y encuentro con carpintería.....	96
Ilustración 70: Identificación de puentes térmicos en sección por hall acceso. Fuente: Elaboración propia	97
Ilustración 71: Identificación de puentes térmicos en sección por sección transversal del bloque departamental. Fuente: Elaboración propia.....	97
Ilustración 72: Identificación de puentes térmicos en sección por sección transversal por las aulas. Fuente: Elaboración propia	98
Ilustración 73: Identificación de puentes térmicos en planta baja. Fuente: Elaboración propia.....	98
Ilustración 74: Ausencia de puentes térmicos por pilares integrados en los cerramientos de las fachadas. Fuente: Elaboración propia.....	99
Ilustración 75: Puentes térmicos en el contorno de los huecos y lucernarios.....	99
Ilustración 76: Solución para puente térmico en jamba y dintel. Fuente DA-DB-HE/3	100
Ilustración 77: Puentes térmicos producidos por el frente de los forjados en fachada.	100
Ilustración 78: Solución de puente térmico por frente de forjado en cubierta.....	101
Ilustración 79: Puentes térmicos producidos por la cubierta con pretil.....	101
Ilustración 80: Puentes térmicos producidos por cubiertas sin pretil.	102
Ilustración 81: Puentes térmicos producidos por el contacto de elementos estructurales con el forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia	102
Ilustración 82: Puentes térmicos producidos por las esquinas o encuentros de fachada.....	103
Ilustración 83: Puentes térmicos producidos por encuentro de voladizo con fachada.....	103
Ilustración 84: Puente térmicos producido por los aireadores. Fuente: Elaboración propia...	104
Ilustración 85: Bomba de calor del edificio Lorenzo Normante. Fuente: elaboración propia..	105
Ilustración 86: Placa de características de la bomba de calor CIAT, modelo LR-1803.2.....	106
Ilustración 87: Esquema general: sala de máquinas red hidráulica. Fuente: INCLIZA S.L.....	107
Ilustración 88: Esquema de principios red secundaria climatización. Fuente: INCLIZA S.L	108
Ilustración 89: Climatizador de la Sala de estudios. Fuente: Elaboración propia	109

Ilustración 90: Imagen de rejillas de toma y retorno a fan-coil de techo en el pasillo de la planta baja.....	110
Ilustración 91: Partes del tubo de toma de aire exterior de un aula. Fuente: elaboración propia	110
Ilustración 92: Imagen fan-coil y ventana con aireador de un despacho. Fuente: Elaboración propia	111
Ilustración 93: Distribución de conductos y red hidráulica para climatización en la planta baja.	112
Ilustración 94: Perfil de cargas cubiertas por el free-cooling. Fuente: Oscar Robé Torrijo	114
Ilustración 95: Esquema recuperador de calor de placas y flujo cruzado.....	114
Ilustración 96: Fotografía del pasillo de planta baja. Fuente: Elaboración propia	117

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Hoja de ruta europea hacia economía baja en carbono. Fuente: Elaboración propia a partir de guía de aplicación del DB-HE 2019 y COM(2018)773.....	26
Tabla 2: Evolución del límite de consumo de energía primario no renovable en la normativa española.	30
Tabla 3: Evolución límite de consumo de energía primaria total en la normativa española.....	30
Tabla 4: Evolución del valor límite de la transmitancia térmica en la normativa española.	30
Tabla 5: Evolución del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente en la normativa española. Fuente: Elaboración propia	31
Tabla 6: Stand-by de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2017 y 2020. Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte	56
Tabla 7: Consumo de energía real y porcentaje de variación extraído de facturas aportadas por la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	61
Tabla 8: Comparación número de horas de climatización y consumo según datos de la Oficina Verde.	63
Tabla 9: Tabla 1bis del artículo 4 de la NBE-CT-79. Fuente: elaboración propia	68
Tabla 10: Coeficiente de transmisión de los cerramientos, K_{max} , permitida por NBE-CT.79.....	68
Tabla 11: Comparación transmitancias térmicas exigidas por el NBE-CT-79, memorias de proyecto y calculadas en anexo 1. Fuente: elaboración propia	71
Tabla 12: Consumo energético y gasto económico producido por la pérdida de calor. Fuente: Elaboración propia.....	79
Tabla 13:Densidad y conductividad térmica de los materiales según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	82
Tabla 14:Densidad, resistencia térmica y espesor de los materiales según CAT-EC. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 15:Densidad y resistencia térmica del G.R.C. según RE. Revista edificación. Fuente: Elaboración propia.....	83
Tabla 16: Densidad y conductividad térmica del Pladur-metas según casa comercial Pladur. ..	83
Tabla 17: Cálculo de la resistencia térmica del Forjado Sanitario según DA DB HE/1.	89
Tabla 18: Comparación entre transmitancia existente, exigida y aconsejadas de los elementos que conforman la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia.....	90

Tabla 19: Ahorro energético y económico producido por la colocación de SATE. Fuente: Elaboración propia.....	94
Tabla 20: Comparativa y características de diferentes tipologías de recuperador de calor.....	115
Tabla 21: Recuperadores necesarios para nuevo sistema de ventilación. Fuente: Elaboración propia.....	116
Tabla 22: Extracto de la Tabla 2.1 del NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	128
Tabla 23: Densidad y conductividad térmica de los materiales según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	129
Tabla 24: Densidad, resistencia térmica y espesor de los materiales según CAT-EC. Fuente: Elaboración propia.....	129
Tabla 25: Densidad y resistencia térmica del G.R.C. según RE. Revista edificación. Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla 26: Densidad y conductividad térmica del Pladur-metas según casa comercial Pladur. Fuente: Elaboración propia.....	130
Tabla 27: Cálculo de K del forjado sanitario según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia ...	130
Tabla 28: Cálculo de K de la fachada con ALUCOBOND según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	131
Tabla 29: Cálculo de K de la fachada de GRG sobre pantalla de hormigón según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	132
Tabla 30: Extracto de la Tabla 2.2 del NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	132
Tabla 31: Cálculo de K de la fachada de GRG sobre pared de termoarcilla según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia.....	133
Tabla 32: Cálculo de K del forjado que separa el sótano y la planta baja según NBE-CT-79. ...	133
Tabla 33: Cálculo de K de la cubierta según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia	134
Tabla 34: Cálculo de K del lucernario – muro (parte ciega) según NBE-CT-79.....	134
Tabla 35: Cálculo de K del lucernario – cubierta (parte ciega) según NBE-CT-79.....	135

INDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Línea del tiempo de la Normativa Europea. Fuente: Elaboración propia	26
Gráfica 2: Evolución del consumo eléctrico de la Universidad de Zaragoza según datos de la Oficina Verde.	53
Gráfica 3: Evolución del consumo eléctrico por campus universitario en 2015-2018.....	54
Gráfica 4: Consumo eléctrico de los edificios de la Universidad de Zaragoza en el año 2018. ..	54
Gráfica 5: Consumo eléctrico por superficie útil de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2018.	55
Gráfica 6: Comparación del consumo eléctrico por superficie útil de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2018 y las universidades españolas en 2011 según IDAE. Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte	56
Gráfica 7: Evolución del consumo eléctrico, febrero 2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA	57
Gráfica 8: Consumo diario diferenciado de energía eléctrica, marzo 2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA.....	58
Gráfica 9: Potencia eléctrica diaria diferenciado de energía eléctrica, marzo 2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA.....	59
Gráfica 10: Consumo eléctrico diferenciado horario día 26-4-2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA	60
Gráfica 11: Consumo de energía real extraído de facturas aportadas por la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia.....	61
Gráfica 12: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses noviembre, diciembre, enero y febrero, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	64
Gráfica 13: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses marzo y abril, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	64
Gráfica 14: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses mayo y octubre según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	65
Gráfica 15: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses junio y julio, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	65
Gráfica 16: Perfil horario de consumo eléctrico promedio del mes de septiembre, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia	66
Gráfica 17: Perfil horario de consumo eléctrico promedio del mes de agosto, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia.....	66

Gráfica 18: Gráfico logarítmico para clasificación de carpinterías según su permeabilidad al aire	70
Gráfica 19: Evolución de la temperatura ambiental exterior (°C) durante el periodo de estudio.	92
Gráfica 20: Consumo de calefacción y refrigeración en los tres módulos de ensayo según los periodos de estudio. Fuente Carmen Alonso Ruiz-Rivas	93

Resumen

Este trabajo fin de grado se basa en el estudio de posibles vías para la rehabilitación energética del Edificio Lorenzo Normante. Se organiza en dos partes diferenciadas.

Por un lado, se ilustra el aporte que el sector de la construcción supone al consumo de recursos naturales y a la contaminación del medio natural, y como por ello, la rehabilitación energética es necesaria para conseguir un mundo sostenible. Analizo el marco teórico general sobre la situación energética global y la eficiencia en los edificios universitarios en España. Revisando la evolución de las directivas europeas y su interpretación en reglamentos españoles, haciendo hincapié en la diferencia normativa entre edificios de nueva construcción y rehabilitados, aportando los límites de eficiencia energética que debe cumplir un edificio rehabilitado y entendiendo que es un Edificio de Consumo de Energía Casi Nulo. Además de estudiar el papel que toma la Universidad de Zaragoza ante los Objetivos de Desarrollo Sostenible, siendo este el que dota de relevancia mi trabajo.

Por otro lado, el trabajo se centra en el análisis energético del Edificio Lorenzo Normante. Se realiza una descripción arquitectónica, estructural y constructiva del mismo con el fin de tener una idea previa de como es este edificio. Posteriormente se encuadra en un marco comparativo con respecto al resto de edificios de la Universidad de Zaragoza y de otras universidades españolas, comprendiendo así que el consumo del edificio estudiado supera la media nacional y local de consumo por superficie. Se analizan los datos obtenidos por el programa de gestión de mantenimiento (SCADA) y las facturas para poder responder a cómo, cuándo y cuanto consume el edificio.

Considerando que las pérdidas de calor en la edificación se producen en un 40% ventilación, 23% puentes térmicos, 14,8% muros, 8,88% ventanas, 7,03% filtraciones, 4,07 cubierta y 2,22% suelo en contacto con el terreno, se analizan 3 estrategias concretas: disminución de las transmitancias de partes opacas de la envolvente, eliminación de puentes térmicos y creación de un sistema de ventilación mecánica con recuperador de calor.

Abstract

This work is based on the study of possible ways of energy rehabilitation of the Lorenzo Normante building. It is organised in two different parts.

On the one hand, I illustrate the contribution that the building sector makes to the consumption of natural resources and the pollution of the natural environment, and how energy retrofit is therefore necessary to achieve a sustainable world. I analyse the general theoretical framework of the global energy situation and the efficiency of buildings. Examine the evolution of European directives and their interpretation in Spanish regulations, emphasising the regulatory difference between new construction buildings and refurbished buildings, providing the energy efficiency limits that a refurbished building must comply. Also it describes what a Nearly Zero Energy Consumption Building is. In addition it studying the role of the University of Zaragoza in relation to the Sustainable Development Goals, these being the ones that give relevance to my work.

On the other hand, the work focuses on the energy analysis of the Lorenzo Normante building. An architectural, structural and constructive description of the building is made first in order to have a previous idea of what this building is like. Subsequently, it is framed in a comparative framework with respect to the rest of the buildings of the University of Zaragoza and other Spanish universities, thus we understand that the consumption of the building studied exceeds the national and local average of consumption per area. The data obtained by the maintenance management programme (SCADA) and the invoices are analysed in order to be able to answer how, when and how much the building consumes.

Considering that heat losses in the building are produced by 40% ventilation, 23% thermal bridges, 14.8% walls, 8.88% windows, 7.03% leaks, 4.07% roof and 2.22% soil in contact with the ground, there will be 3 main strategies analysed: reduction of opaque envelope transmitances, elimination of thermal bridges and creation of a mechanical ventilation system with heat recovery.

Agradecimientos

Me gustaría plasmar mi agradecimiento a una serie de personas que han sido vitales para poder realizar este Trabajo Fin de Grado.

En primer lugar, agradecerle a la Oficina Verde, y más concretamente a D. David Cambra, que compartiese conmigo toda la información empleada sobre el consumo energético del Edificio Lorenzo Normante.

Además, me gustaría nombrar a D. Cándido Gastón, Jefe de Mantenimiento del Campus Río Ebro, por invertir su tiempo en enseñarme el funcionamiento interno del edificio y comprometerse incluso a realizar inspecciones posteriores para comprobar la veracidad de los planos.

No me gustaría olvidarme de mi compañera de la Escuela, D^a Clara Vicioso, quien depositó el pasado mes de junio su Trabajo Fin de Grado, cuyo caso de estudio coincidía con el mío, y con la que estuve trabajando conjuntamente para entender y compartir los datos recopilados por ambas partes.

Por último, a D Salvador Nevot Bosch, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, por facilitarme gran parte de la documentación de los proyectos de ejecución de arquitectura y climatización del Edificio Lorenzo Normante.

Motivación

Cuando empecé a plantearme este Trabajo Fin de Grado, sabía que quería que estuviese relacionado con la eficiencia energética de la edificación. Esto se debe a que conforme he ido avanzando a través de los distintos cursos de la carrera y ampliando mis conocimientos sobre arquitectura, he sido cada vez más consciente de la carga ambiental que supone la edificación y de cómo el confort térmico interior va ligado a la eficiencia energética.

Es importante entender que el gasto de recursos se produce en el proceso de construcción, durante la vida útil del edificio y en su demolición. Por tanto, controlar cuanto y que tipo de energía consume nuestro edificio es un factor importante. La normativa actual, Código Técnico de la Edificación 2019, obliga a reducir el consumo energético de los edificios de nueva construcción y rehabilitados, llegando a definir y exigir que los edificios de nueva construcción sean Edificios de consumo de Energía Casi Nula, EECN.

Las restricciones por parte de la normativa a los edificios de nueva construcción han generado que en la actualidad exista gran desigualdad entre los edificios de nueva construcción y los existentes en aspectos energéticos y de confort. Para poder equilibrarlas tenemos dos opciones, una sustituir los edificios anticuados por otros nuevos (acción que no tiene sentido a gran escala, ya que la edificación de estos nuevos edificios consumiría muchos recursos naturales y económicos) y otra, mucho más lógica que es la rehabilitación energética.

La rehabilitación energética en el ámbito residencial es un tema muy estudiado, del que existe gran documentación, sin embargo, no ocurre lo mismo en el ámbito de la edificación de uso terciario. Centrándonos en este tema, surgió la petición por parte de la Universidad de Zaragoza de que algún alumno del Grado en Estudios en Arquitectura realizase una pequeña investigación sobre las estrategias que se deberían seguir para mejorar la eficiencia energética del Edificio Lorenzo Normante. Tema que llamó mi atención y decidí ser yo quien abordase este proyecto.

Objetivos y metodología

El objetivo principal de este trabajo consiste en el análisis y estudio del funcionamiento energético del Edificio Lorenzo Normante, perteneciente a la Facultad de Economía y Empresa de la Universidad de Zaragoza, con el fin de establecer una serie de estrategias con las que abordar una posible rehabilitación energética de dicho edificio.

La metodología seguida diferencia en dos bloques:

El primer bloque analiza el marco teórico general sobre la situación energética global y la eficiencia de los edificios, revisando el panorama actual en cuanto a directivas europeas y su interpretación en reglamentos españoles. Además de estudiar la motivación que lleva a la Universidad de Zaragoza a proponer este trabajo.

El segundo bloque se centra en el caso de estudio del Edificio Lorenzo Normante. Para enfrentar este apartado, el primer paso fue la búsqueda de documentación sobre mi caso de estudio. Para ello me puse en contacto a través de mis tutores con D. Salvador Nevot Bosh, profesor asociado del Departamento de Ingeniería Eléctrica, que me suministró gran parte de la documentación de los proyectos de ejecución de arquitectura y climatización del Edificio Lorenzo Normante. También contacté con la Oficina Verde que me facilitó las facturas y datos recolectados por SCADA desde el año 2018. He realizado varias visitas al edificio, para recorrerlo, resolver mis dudas y tomar imágenes. En una de estas visitas conté con la compañía de D. Cándido Gastón, Jefe de Mantenimiento del Campus Río Ebro, quien me guio hasta la sala de máquinas y contestó a mis numerosas preguntas sobre el funcionamiento del sistema de climatización y ventilación del edificio. Me gustaría mencionar que traté de consultar el expediente en la Oficina de Registro Seminario pero que, cumplimiento del dictamen de la Comisión Calificadora de Documentos Administrativos del Ayuntamiento de Zaragoza y por motivos de seguridad, para poder consultar dicho expediente debía un documento acreditativo mediante el cual la dirección del centro me identificara y autorizase a realizar la consulta, documento que no he sido capaz de conseguir.

Una vez obtenida toda la documentación me centré en la organización y estudio de toda esta documentación, analizando el funcionamiento energético del edificio y estableciendo, gracias al apoyo de referencias externas, una serie de pautas o estrategias constructivas y sobre la ventilación del edificio que permitan mejorar el rendimiento energético del edificio y se estimarán los ahorros propuestos.

Introducción

1. Cambio climático y arquitectura

Desde los orígenes de la arquitectura, e incluso antes de que existiera, ya se tenían en cuenta factores como la humedad, la ventilación, la orientación y la comodidad para elegir el lugar donde resguardarse. Buscaban un espacio que permitiese realizar sus labores diarias en un entorno con mejores condiciones climáticas que el exterior.¹

Desde entonces y hasta el siglo XX la arquitectura se caracterizaba por su factor bioclimático. Se estudiaba la implantación de los asentamientos según las condiciones de contorno, por ejemplo, los pueblos del Pirineo que se asientan siempre sobre la ladera norte de las colinas para poder calentarse con la luz directa del sol. Se construía con materiales de proximidad y se estudiaba la dirección y dimensión de los huecos en función del clima del lugar: si se buscaba la exposición o protección frente al sol, o si era necesario forzar la circulación del aire. A su vez debía proteger de los factores exteriores más desfavorables como pueden ser los vientos fuertes y la lluvia.

Andrea Palladio en *De Architectura* cuando proclamaba los tres principios básicos de la arquitectura "*Utilitas, Firmitas y Venustas*" ilustraba también la importancia del factor climático. Lo primero y más importante es la utilidad, crear un cobijo resguardado de las inclemencias del tiempo que permita al habitante desarrollar sus actividades. En segundo lugar, la firmeza, la durabilidad y la estabilidad. Y en último lugar, la belleza.²

El desarrollo económico provocó que algunos edificios se fuesen alejando poco a poco de estas ideas y se centrasen en la estética y simbología. De esta forma se reorganizaron los tres principios de Palladio: *Venustas* pasó a ser el valor más importante, siendo casi el único en tenerse en cuenta, aunque no podían olvidarse de *Firmitas*, las edificaciones no se podían derrumbar. *Utilitas* se vio completamente desplazada.³

Esta reorganización de los principios de la arquitectura se acentuó aún más cuando el crecimiento económico produjo grandes migraciones a las ciudades en busca de mejores oportunidades, por lo que se necesitaba un elevado número de nueva edificación en poco tiempo, hecho que se consiguió premiando la cantidad a la calidad. A su vez, estas sociedades más desarrolladas, en su búsqueda por la internalización, se deslocalizó por completo y se olvidó de su factor bioclimático.⁴

En la actualidad somos conscientes del gran consumo de recursos naturales que supone el sector de la construcción (fabricación de materiales, construcción, uso y demolición). Este representa

¹ Duque, «La arquitectura bioclimática y el cambio climático».

² Duque.

³ Duque.

⁴ Duque.

el 40% del consumo de la energía total de un país, 40% de las emisiones de CO₂ y el 60% del consumo de los materiales.^{5 6 7}

Es importante entender que este gasto de recursos se produce en el proceso de construcción, durante la vida útil del edificio y en su demolición. Por tanto, controlar cuanto y que tipo de energía consume nuestro edificio es un factor importante. La normativa actual, Código Técnico de la Edificación 2019, obliga a reducir el consumo energético de los edificios de nueva construcción y rehabilitados, llegando a definir y exigir que los edificios de nueva construcción sean Edificios de Consumo de Energía Casi Nula, EECN, (este concepto es desarrollado en el apartado de "3: Evolución de la normativa"). Por lo tanto, para obtener una situación de confort en el interior, con el mínimo apoyo de sistemas activos como sea posible, es necesario diseñar nuestros edificios de acuerdo con ciertos parámetros bioclimáticos y sistemas pasivos.

Esta nueva normativa provoca una gran desigualdad entre los edificios de nueva construcción y los existentes en aspectos energéticos y de confort. Para poder equilibrarlas tenemos dos opciones, una sustituir los edificios anticuados por otros nuevos (acción que no tiene sentido a gran escala, ya que la edificación de estos nuevos edificios consumiría muchos recursos naturales y económicos) y otra la rehabilitación energética.

En este trabajo me centro en la rehabilitación energética enfocada a la arquitectura educativa, ya que es un tema menos tratado que el residencial y trae consigo varios beneficios sociales: Actúa como proceso educativo, concienciando a los alumnos de los beneficios de este tipo de procesos; mejora del confort térmico; mantener el uso mixto en las tramas urbanas, ya que la mayoría de las escuelas se encuentran espacios consolidados de las ciudades y un nuevo colegio se situaría en zonas periurbanas; mayor viabilidad económica que la obra nueva.⁸

⁵ Castro Vázquez, «La rehabilitación energética en la arquitectura escolar. Hacia el edificio rehabilitado nZEB.»

⁶ Duque, «La arquitectura bioclimática y el cambio climático».

⁷ Medrano et al., «Assessing the Nearly Zero-Energy Building Gap in University Campuses with a Feature Extraction Methodology Applied to a Case Study in Spain».

⁸ Castro Vázquez, «La rehabilitación energética en la arquitectura escolar. Hacia el edificio rehabilitado nZEB.»

2. Evolución de la Normativa

2.1 Normativa europea

Después de los grandes conflictos del siglo XX que provocaron la destrucción de ciudades y edificaciones, cada país las reconstruyó pensando en las necesidades inmediatas y su función, obviando por completo el aspecto energético con el fin de abaratar costes y así poder resolver el problema en el menor tiempo posible.

Con las “**crisis del petróleo**” de 1973 y 1979 se puso de manifiesto la gran dependencia que tienen las sociedades modernas hacia los combustibles fósiles y la repercusión que tenía la energía en nuestras vidas. Ante estos hechos se optó por políticas que buscaban la mayor eficiencia de las instalaciones y combustibles, que mejoraron el confort de los usuarios, pero sin disminuir la demanda de los edificios.⁹

Pasaron varios años hasta que aparecieron las primeras normativas y modelos que introdujesen la mejora energética en la edificación. La primera normativa europea que habla de estos aspectos es la “**Directiva 93/76/CEE**”¹⁰, a través de la cual se pretendía conseguir estabilizar las emisiones totales para el 2000 y realizar un uso más prudente y racional de la energía y los recursos naturales en la Comunidad.

Con la llegada del siglo XXI se detectaron aspectos sobre los que se requería una acción inmediata:

- Por un lado, las altas emisiones de CO₂. Puesta de manifiesto por el **Protocolo de Kyoto**¹¹, que busca promover el desarrollo sostenible al atenerse a un compromiso cuantificado de limitación y reducción de emisiones.
- Por otro lado, el elevado consumo energético de la edificación y la gran dependencia del continente europeo a los combustibles fósiles.

En este contexto nacen varias directivas como la “**Directiva 2001/77/CE**”¹², la “**Directiva 2003/30/CE**”¹³, y sobre todo la “**Directiva 2002/91/CE**”¹⁴ donde se establece una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios, la aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética para edificios de nueva construcción y para los grandes edificios existentes (superficie útil total superior a 1000 m²) que vayan a ser objeto de una reforma integral, la certificación energética de los edificios y la inspección y evaluación periódica de las instalaciones.

⁹ Castro Vázquez.

¹⁰ «Directiva 93/76/CEE del consejo de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)».

¹¹ Naciones Unidas, «Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático».

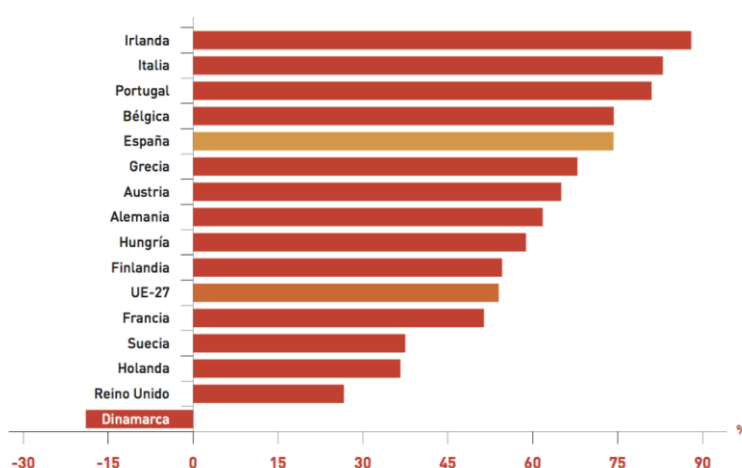
¹² «Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad».

¹³ «Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003/30/CE, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables den el transporte».

¹⁴ «Directiva 2002/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios».

Posteriormente se redactó la “**Directiva 2006/32/CE**”¹⁵ que propone como objetivo general que cada Estado miembro elabore un programa de acción con el fin de conseguir un ahorro energético del 9% para el noveno año de aplicación.

En la “**Directiva 2009/28/CE**”¹⁶ se fijan objetivos nacionales obligatorios en relación con la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto, para España es del 20% para 2020. Con ello se pretende reducir la dependencia de los Estados Miembros hacia los combustibles fósiles. En el caso de España, la aportación de combustibles fósiles en 2009 era de entorno al 80% (Mientras que la media de los países europeos era del 50%). Por ello era importante centrar los esfuerzos en reducir la demanda y consumo asociada a la edificación.¹⁷



*Ilustración 1: Importancia del petróleo en los países de la Unión Europea.
Fuente: Tesis doctoral José Manuel Castro Vázquez*

En 2010 la Comisión Europea realizó un comunicado con el que proclamaba la creación de la “**Estrategia Europea 2020**”¹⁸ cuyo principal objetivo relacionado con la materia que estamos trabajando es reducir al menos en un 20 % las emisiones de gases de efecto invernadero, aumentando el porcentaje de energía procedente de fuentes de energía renovables en nuestro consumo final hasta un 20 % e incrementar en un 20 % la eficacia energética.

Vista la gran importancia de este triple objetivo fue necesario derogar la “**Directiva 2002/91/CE**” creando un texto refundido “**Directiva 2010/31/UE**”¹⁹, que junto a sus sucesivas modificaciones plantea la metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios o unidades de este, así como la adopción de una serie de medidas que garantice e incentive la realización de

¹⁵ «Directiva 2006/32/CE del parlamento europeo y del consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo».

¹⁶ «Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE».

¹⁷ Castro Vázquez, «La rehabilitación energética en la arquitectura escolar. Hacia el edificio rehabilitado nZEB.»

¹⁸ Comisión Europea, «EUROPA 2020 Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador».

¹⁹ «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios».

reformas en la edificación existente, estableciendo unos requisitos mínimos de eficiencia para la modificación de la envolvente de los edificios. Creando una normativa que diferencie entre edificios nuevos y existentes.²⁰

Esta Directiva sigue estando vigente en la actualidad, aunque ha sufrido algunas modificaciones como:

- **“Directiva 2012/27/UE”²¹**, imponiendo un marco común de medidas más estrictas para el fomento de la eficiencia energética dentro de la Unión con el fin de conseguir el 20% de ahorro para el 2020.
- **Directiva 2018/844/UE²²** por la que cada Estado miembro deberá establecer una hoja de ruta con medidas e indicadores de progreso para conseguir su compromiso de establecer un sistema energético, sostenible, competitivo y descarbonizado para el 2050, reduciendo el 85/90% de los gases de efecto invernadero respecto a 1990. Establece 3 hitos indicativos: uno a corto plazo (2030), otro a medio plazo (2040) y el último a largo plazo (2050)
- **Reglamento 2018/1999/UE²³**, completado por el Reglamento Delegado 2020/1044/UE, que persigue alcanzar las iniciativas establecidos para 2030 en el comunicado de la Comisión Europea COM(2016)860²⁴: reducir un 40 % las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990, que las energías renovables supongan el 32 % sobre el consumo total de energía final bruta, mejorar en un 32,5 % la energética y llegar a un 15 % interconexión eléctrica de los Estados miembros.
- **Reglamento Delegado 2020/2155/UE²⁵** que completa la Directiva estableciendo un régimen común voluntario para valorar el grado de preparación para aplicaciones inteligentes de los edificios.

Además, presenta los **Edificios de consumo de energía casi nulo (EECN)** como medio necesario para alcanzar los objetivos impuestos, que son definidos de la siguiente manera:

“Edificio con un nivel de eficiencia energética muy alto, que se determinará de conformidad con el anexo I. La cantidad casi nula o muy baja de energía requerida debería estar cubierta, en muy amplia medida, por energía procedente de fuentes

²⁰ «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios».

²¹ «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/31/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE».

²² «Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética».

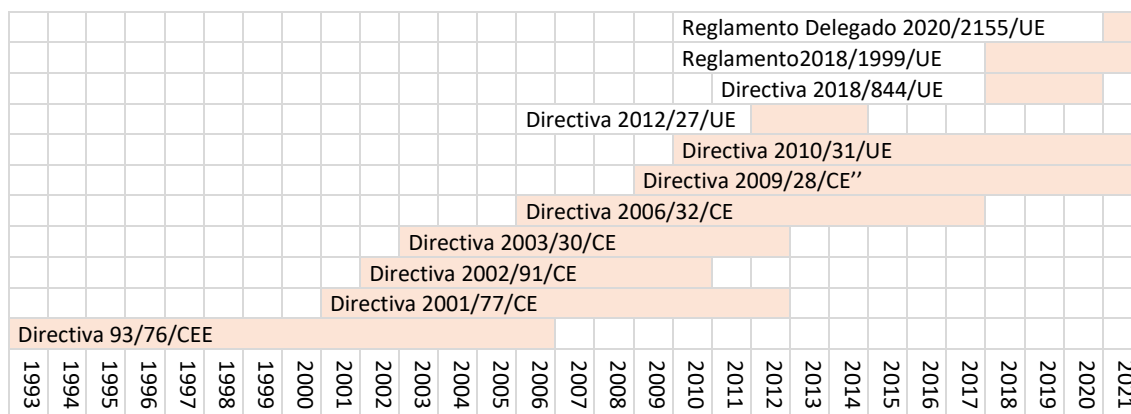
²³ «Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 663/2009 y (CE) n.º 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directivas 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, y se deroga el Reglamento (UE) n.º 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo».

²⁴ European Commission, «Com(2016) 860 final. Communication from the commission. Clean energy for all europeans».

²⁵ «Reglamento Delegado (UE) 2020/2155 de la Comisión de 14 de octubre de 2020 por el que se completa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo mediante el establecimiento de un régimen común voluntario de la Unión Europea para la valoración del grado de preparación para aplicaciones inteligentes de los edificios».

renovables, incluida energía procedente de fuentes renovables producida in situ o en el entorno.²⁶

Otorga unos criterios mínimos para que cada Estado miembro elabore su propio plan nacional donde defina que es un EECN en su territorio y exige que para finales de 2018 todos los edificios públicos nuevos y para finales de 2020 todos los edificios nuevos sean Edificios de Consumo de Energía casi Nulo.



Gráfica 1: Línea del tiempo de la Normativa Europea. Fuente: Elaboración propia

En definitiva, en la actualidad estamos siguiendo la hoja de ruta establecida por la “Estrategia a largo plazo para 2050”

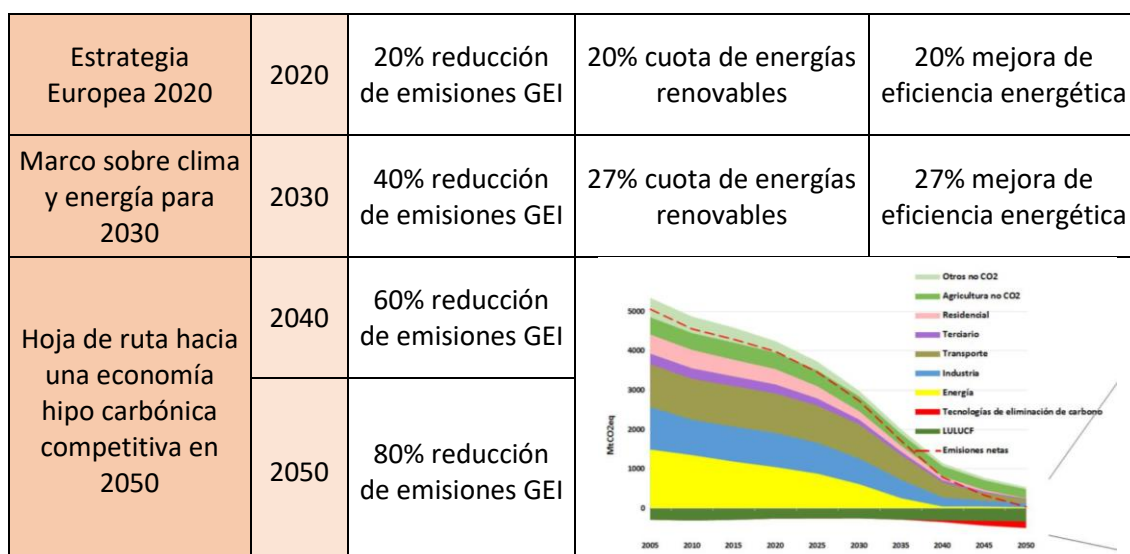


Tabla 1: Hoja de ruta europea hacia economía baja en carbono. Fuente: Elaboración propia a partir de guía de aplicación del DB-HE 2019 y COM(2018)773

²⁶ «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios».

2.1 Normativa española

En los años 50' 60' y 70' en España, como en el resto de Europa, las necesidades hacían que fuese necesaria una gran cantidad de nuevas construcciones, por lo que se priorizó la cantidad a la calidad. No fue hasta los años 80' que se implantó la primera normativa que tuviera en cuenta los aspectos energéticos de la edificación.²⁷ Se trata de la **Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79)**²⁸ que nace respondiendo a la ya citada "crisis del petróleo" de 1973 y 1979.²⁹

La principal aportación del NBE-CT-79 fue que los edificios debían estar definidos térmicamente por:

- La transmitancia global de calor a través de los cerramientos, Kg.
- La transmitancia térmica de los cerramientos, K.
- El comportamiento higrotérmico de los cerramientos.
- La permeabilidad al aire de los cerramientos.
- Estos factores venían definidos en función de la zona climática en la que se encontrase el edificio.

En esta normativa existen dos aspectos negativos y son que no establece límite de transmisión térmica para forjados en contacto con el terreno y huecos, ni tiene en cuenta los puentes térmicos. Estos dos aspectos son responsables de grandes pérdidas energéticas y de falta de confort interno de los edificios construidos en esa época.

El 28 de marzo de 2006 entró en vigor el "**Código Técnico de la Edificación**" (CTE) dando respuesta a los distintos objetivos marcados por la Unión Europea en las sucesivas Directivas y Reglamentos.

El CTE ha ido siendo objeto de sucesivas revisiones y modificaciones que permiten que se ajuste a los cada vez más exigentes objetivos de la Unión Europea. Si nos centramos en el "Documento Básico de Ahorro de Energía" (DB-HE) podemos observar varias versiones desde su creación³⁰:

- DB_HE_28/03/2006³¹
- DB_HE_23/10/2007³². Aparece el Documento Básico de protección frente al ruido DB-HR

27 Castro Vázquez, «La rehabilitación energética en la arquitectura escolar. Hacia el edificio rehabilitado nZEB.»

28 Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

29 «Directiva 93/76/CEE del consejo de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE).»

30 Gobierno de España, «CTE Código técnico de la edificación. Ahorro de energía.»

31 «Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.»

32 Ministerio de Vivienda, «Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico "DB-HR Protección frente al ruido" del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.»

- DB_HE_25/01/2008³³. Corrección de errores y erratas.
- DB_HE_12/09/2013³⁴. Incorporó una nueva sección, el HE0 que limita el consumo de energía primaria de los edificios en función de la zona climática de invierno donde se encuentre, el uso.
- DB_HE_23/06/2017³⁵. Se introduce el concepto de Edificio de consumo de energía casi nulo.
- DB_HE_20/12/2019³⁶. Limita el consumo de energía que podrá consumir cada edificio (siendo este más exigente para los edificios de nuevos que existentes a los que se les permite un 40% de consumo más) y reduce el valor de la transmitancia térmica de la envolvente del edificio.

El DB-HE en la actualidad presenta seis apartados:

- HE0: Limitación del consumo energético.
- HE1 Condiciones para el control de la demanda energética.
- HE2 Condiciones de las instalaciones térmicas.
- HE3 Condiciones de las instalaciones de iluminación.
- HE4 Contribución mínima de energía renovable para cubrir la demanda de agua caliente sanitaria.
- HE5 Generación mínima de energía eléctrica.

Para satisfacer la 'Directiva 2012/27/UE'³⁷ el Ministerio de Fomento elaboró la **“Estrategia a largo plazo para la Rehabilitación Energética en el Sector de la Edificación en España (ERESEE 2014)”**³⁸ que supuso un importante punto de partida para el impulso de la rehabilitación energética del sector de la edificación de España.

En 2018 la Unión Europea publica la Directiva 2018/844/UE³⁹ incorporando, a parte de lo ya nombrado, varias novedades como la creación de políticas y acciones destinadas a todos los edificios públicos. Esto supone la necesidad de crear una nueva estrategia que separe los edificios en residenciales y terciarios y promueva la rehabilitación de los edificios terciarios.

³³ Ministerio de Vivienda, «Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.»

³⁴ Ministerio de Fomento, «Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.»

³⁵ Ministerio de Fomento, «Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía” y el Documento Básico DB-HS “Salubridad”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.»

³⁶ Ministerio de Fomento, «Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.»

³⁷ «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/31/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE».

³⁸ Ministerio de Fomento, «Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE.»

³⁹ «Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética”».

transformándolos en Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo (EECN). España lo afronta con la publicación del **ERESEE 2020**⁴⁰.

Por último, con el fin de cumplimentar el Reglamento 2018/1999/UE⁴¹, España presentó un borrador del **Plan Nacional Integrado de Energía y Clima (PNIEC) 2021-2030**⁴² que en la actualidad sigue en fase de revisión.

Los principales objetivos vinculantes para la UE en 2030 son:

- 40 % de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 32 % de renovables sobre el consumo total de energía final bruta.
- 32,5 % de mejora de la eficiencia energética.
- 15% interconexión eléctrica de los Estados miembros.

Con la plena aplicación de las medidas propuestas por el PNIEC se alcanzarán los siguientes objetivos:

- 23 % de reducción de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) respecto a 1990.
- 42 % de renovables sobre el uso final de la energía.
- 39,5 % de mejora de la eficiencia energética.
- 74 % de energía renovable en la generación eléctrica.

El PNIEC, para alcanzar los objetivos anteriores en el horizonte 2030, aborda las cinco dimensiones que establece la Unión de la Energía, esto es, la descarbonización de la energía y el avance de las renovables; la eficiencia energética; la seguridad energética; el mercado interior de la energía y la investigación, innovación y competitividad de manera que en el 2050 se consiga la neutralidad climática en España, con la reducción de al menos un 90 % de las emisiones de GEI. Además de alcanzar un sistema eléctrico 100% renovable en 2050.⁴³

Además, con el fin de contribuir a las medidas de eficiencia energética incluidas en el PNIEC, así como con el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica⁴⁴, se realizó una actualización del Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios⁴⁵ en marzo de 2021.

⁴⁰ ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «ERESEE 2020. Actualización 2020 de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.»

⁴¹ «Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 663/2009 y (CE) n.º 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directiva 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, y se deroga el Reglamento (UE) n.º 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo».

⁴² Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico, «Resolución de 30 de diciembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula la declaración ambiental estratégica del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.»

⁴³ Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico.

⁴⁴ Ministerio para la Transición Ecológica, «Resolución de 10 de enero de 2020, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, por la que se publica el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica.»

⁴⁵ Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática, «Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.»

Para mostrar la evolución de la normativa en aspectos relacionados con la eficiencia energética he realizado una serie de tablas con los apartados que he considerado más importantes dentro del contexto de este trabajo (Edificio de nueva construcción no residencial, educativo, en Zaragoza):

Consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m² ·año]

NBE-CT-79	CTE 06	CTE 07	CTE 13	CTE 17	CTE 19
/	/	/	Clase B	Clase B	$20+8 \cdot C_{FI}$

Tabla 2: Evolución del límite de consumo de energía primaria no renovable en la normativa española.

Fuente: Elaboración propia.

C_{FI} Carga interna media[W/m²]

Consumo de energía primaria no renovable $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m² ·año]

NBE-CT-79	CTE 06	CTE 07	CTE 13	CTE 17	CTE 19
/	/	/	/	/	$130+9 \cdot C_{FI}$

Tabla 3: Evolución límite de consumo de energía primaria total en la normativa española.

Fuente: Elaboración propia.

C_{FI} : Carga interna media[W/m²]

Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} (W/m²K)

	NBE-CT-79	CTE 06	CTE 07	CTE 13	CTE 17	CTE 19
Muros y suelos en contacto con el aire exterior	1.60	0.86	0.86	0.60	0.60	0.41
Cubiertas en contacto con el aire exterior	1.20-1.8	0.49	0.49	0.40	0.40	0.33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno	1.40	0.64	0.64	0.60	0.60	0.59
Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica	1.80	1	1	0.85	0.85	0.59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana)	/	3.50	3.50	2.70	2.70	1.8
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%	/	/	/	/	/	5.7

Tabla 4: Evolución del valor límite de la transmitancia térmica en la normativa española.

Fuente: Elaboración propia.

Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente $K_g = K_{lim}$ [W/m²K]

NBE-CT-79	CTE 06	CTE 07	CTE 13	CTE 17	CTE 19
$a \cdot (3 + 1/f)$	/	/	/	/	0.54

Tabla 5: Evolución del coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente en la normativa española.
Fuente: Elaboración propia.

f: factor de forma m⁻¹

a: coeficiente en función del tipo de energía para calefacción:

Caso 1: Combustibles sólidos, líquidos o gaseosos: 0.23

Caso 2: Edificios sin calefacción o calefacción eléctrica: 0.17

En el CTE 2019, se definen los Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo como:

“Edificio, nuevo o existente, que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas en este Documento Básico “DB HE Ahorro de Energía” en lo referente a la limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción.”⁴⁶

⁴⁶ «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía».

3. La Universidad de Zaragoza y los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS)

La Universidad de Zaragoza es un organismo concienciado en materia de sostenibilidad desde hace muchos años. El primer intento por crear un plan estratégico fue en 1992, el cual fracasó al ser planteado desde el exterior sin contar con la comunidad universitaria. Tras ello se crearon grupos de trabajo compuestos por miembros de todos los niveles de la comunidad universitaria, profesores, alumnos y profesionales administrativos y de servicio, de todos los campus, así como colaboradores externos, que centraron sus esfuerzos en analizar la “Misión, visión, cultura y valores de la Universidad de Zaragoza”. De estos grupos salieron los once grandes retos que conforman el “Plan Estratégico 2002-2005”⁴⁷.

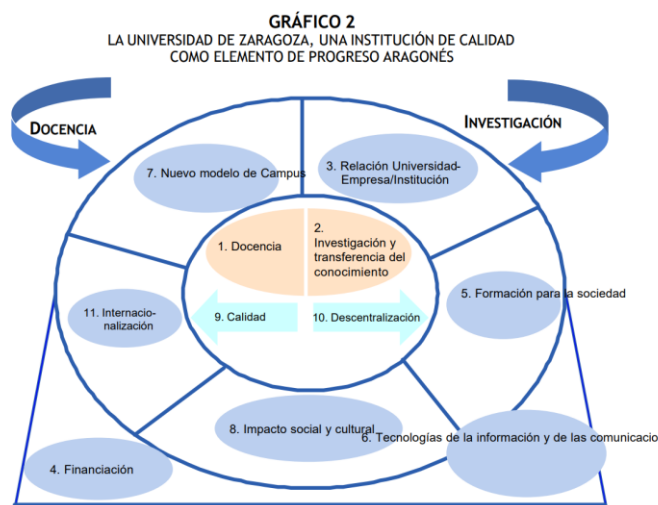


Ilustración 2: Retos estratégicos de la Universidad de Zaragoza 2002-2005.
Fuente: Plan Estratégico 2002-2005.

La Oficina Verde fue fundada en el año 2007 como respuesta a las inquietudes surgidas dentro de la Comunidad Universitaria sobre el cambio climático, el agua, la protección de los recursos y el desarrollo sostenible. Sus esfuerzos se han centrado en evitar el derroche de recursos energéticos, minimizar la generación de residuos y el consumo de agua y fomentar la movilidad sostenible.⁴⁸

En el año 2012 se aprobó el primer “Plan de racionalización de la gestión económica de la Universidad de Zaragoza”⁴⁹, Refundado en 2016⁵⁰, donde, entre otros muchos aspectos, habla de:

- Ahorrar en consumo de energía cerrando las universidades cuando no se emplean para actividades universitarias.

⁴⁷ «Plan Estratégico 2002-2005».

⁴⁸ «Universidad de Zaragoza. Oficina Verde».

⁴⁹ Gabinete del rector Universidad Zaragoza, «Plan de racionalización de la gestión económica de la Universidad de Zaragoza (Aprobado en el Consejo de Dirección 31-10-2012)».

⁵⁰ Consejo de Dirección Universidad Zaragoza, «Plan de racionalización de la gestión económica de la Universidad de Zaragoza (Aprobado en el consejo de Dirección 29-11-2016)».

- Sensibilizar a los usuarios de las instalaciones del consumo.
- Mejorando procesos como la hibernación de equipos informáticos y la adecuación de horarios de trabajo del personal de limpieza.
- Reducir el consumo y costes limitando las horas de encendido y el aporte de climatización y el uso de alumbrado.
- Colocar paulatinamente sondas exteriores e interiores para controlar el consumo.
- Elaborar un plan estratégico para optimizar el consumo energético y las emisiones de CO₂ para el 2020, con validez en 2016.
- Implantar instalaciones de autogeneración de energía.

En 2015 las Naciones Unidas aprobó la resolución “Transformar nuestro mundo: la Agenda 2030 para el Desarrollo Sostenible” con 17 objetivos de aplicación universal para orientar los esfuerzos de los países en lograr un mundo sostenible en el 2030. Estos son los conocidos como Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).⁵¹



Ilustración 3 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Fuente: Oficina verde, UNIZAR.

La Universidad de Zaragoza presentó el “Plan de Acción 2018-2030” para alcanzar dichas metas y transformar la Universidad en un entorno sostenible y saludable para toda la comunidad universitaria. Los 10 objetivos recogidos en el plan son:⁵²

- 100% abastecimiento de energías renovables.
- Reducción del consumo de energía 10%.
- Reducción de emisiones de CO₂ un 40% respecto las emisiones de 1990.
- Transformación de los campus en espacios saludables y sostenibles.
- Integración de energías renovables para la autoproducción en un 2%.
- Incremento de la eficiencia energética de las instalaciones universitarias en un 10%.
- Reducción consumo de agua en 10%.
- Implantar la contratación sostenible de bienes y servicios.
- Integrar la sostenibilidad en la formación, innovación y transferencia tecnológica que desarrolla la Universidad.
- Ampliar las sinergias con organismos y entidades público o privadas en materia de sostenibilidad.

⁵¹ Universida de Zaragoza, «Aportando valor para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2011-2030.»

⁵² ECODES, «La Universidad de Zaragoza ante la agendo 2030».

Si nos centramos en el apartado de energía descubrimos que existen dos planes de ahorro de energía diferentes, uno que data de 2011-2018 y otro que guía los pasos desde el 2018 al 2030. Son impulsados por las acciones desarrolladas por la Oficina Verde y el compromiso marcado en el Plan de racionalización de la gestión económica, y han supuesto la realización de una serie de acciones que han reducido el consumo energético:⁵³

- Suministro de energía con garantía de origen renovable.
La universidad exige una garantía de origen de energía renovable del 51% para el suministro eléctrico. En la actualidad, la empresa licitadora otorga el 100%.
- Ahorro energía de climatización.
Se aboga por un control a distancia de todas las instalaciones universitarias. La Oficina Verde se encarga de realizar una programación de horarios de climatización de cada uno de los edificios, en función de las condiciones meteorológicas exteriores, la ocupación de los edificios, las características pasivas y las cargas internas.
- Cambio de tecnología para reducir consumo.
- Ahorro en energía iluminación .
Sustituyendo paulatinamente las luminarias convencionales por luminarias LED.
- Monitorización progresiva, consumo de los edificios.
- Implantación de sistemas de generación mediante energía renovable.
- Entregar manuales de buena práctica, publicidad, cartelería, cursos...
- Visibilidad de datos de consumo.
- Criterios para la adaptación, reforma o construcción de nuevos edificios.

Siendo conscientes del trabajo que está realizando la Universidad de Zaragoza por reducir el consumo energético y el aporte que la edificación supone en el consumo de energía en Europa, es fácil entender por qué la Universidad está realizando grandes esfuerzos por conocer y controlar el funcionamiento térmico de sus edificios, estando incluso dispuesta a realizar rehabilitaciones energéticas que permita convertirlos en Edificios de Consumo de Energía Casi Nulo.

⁵³ Universida de Zaragoza, «Aportando valor para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2011-2030.»

Edificio Lorenzo Normante



Ilustración 4: Fotografía exterior de edificio Lorenzo Normante. Fuente: Elaboración propia

El Lorenzo Normante es un edificio educacional perteneciente a la Facultad de Economía y Empresa de la Universidad de Zaragoza, ubicado dentro del Campus Río Ebro.

Fue desarrollado por los arquitectos Luis Franco, Mariano Pemán y Basilio Tobías. Su fase de diseño terminó en 1998, fecha que aparece en el proyecto ejecutivo del mismo. Su periodo de construcción abarca desde 2001 hasta 2003.^{54 55}

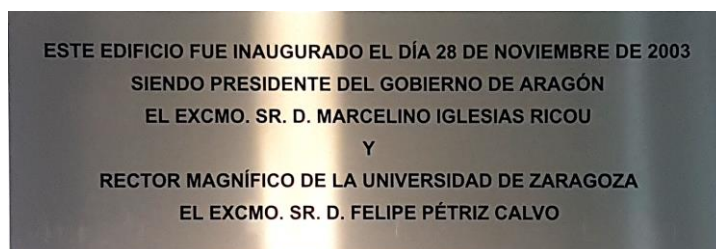


Ilustración 5: Fotografía de la placa conmemorativa de la inauguración del edificio Lorenzo Normante. Fuente: Elaboración propia.

La parcela en la que se implanta es de grandes dimensiones, y no posee edificación colindante. Por ello, y por el carácter disperso del Campus Río Ebro, los arquitectos optaron por organizar el programa en extensión, definiendo los espacios exteriores a través de la traza y prolongaciones del edificio.⁵⁶

⁵⁴ «Sede Electrónica del Catastro - Consulta y certifi.html».

⁵⁵ «Zaragoza | Unidad Técnica de Construcciones y Energía».

⁵⁶ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria descriptiva del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

El Lorenzo Normante toma forma de 'L' que se abre hacia el noreste, donde se encuentra el viario vertebrador del campus, ahí aparece una amplia plataforma que produce el acceso principal del edificio. En la cara sur aparecen otros dos accesos secundarios que lo complementan. Tanto en el espacio sobrante norte y sur de la parcela hay playas de aparcamientos arboladas.⁵⁷

En el brazo de la 'L' de mayor dimensión se diferencian dos franjas: una de tres plantas orientada a sur que está constituida por las diferentes aulas, y otra escalonada que en dos plantas orientadas a norte que contiene fundamentalmente el salón de actos, la sala de estudios y la biblioteca con sus dependencias. Entre estas aparece el espacio central de circulación longitudinal, que transcurre paralelo a un patio interior que sirve a estos espacios.⁵⁸

Los espacios administrativos y los diferentes departamentos de la Escuela se encuentran en el otro brazo del edificio, organizados en cuatro plantas, servidos por un corredor central y dos núcleos de comunicación verticales situados en sus extremos.⁵⁹

En el punto de unión de la 'L' se encuentra el volumen de la cafetería, que se abre a un patio exterior que se prolonga hacia el sur. Esta cuenta con una cocina que tiene acceso independiente desde el exterior.⁶⁰



Ilustración 6: Fotografía exterior acceso sur al edificio Lorenzo Normante. Fuente: Elaboración propia

⁵⁷ Franco, Tobías, y Pemán.

⁵⁸ Franco, Tobías, y Pemán.

⁵⁹ Franco, Tobías, y Pemán.

⁶⁰ Franco, Tobías, y Pemán.

4. Descripción arquitectónica

a. Emplazamiento

El edificio se sitúa en una parcela de 17.592 m² localizada en el Área 5 del Actur, al este del Instituto Tecnológico de Aragón y al sur del Edificio Betancourt. La parcela se apoya en la calle María de Luna, que sirve como acceso a la zona universitaria y limita la parcela por el norte.⁶¹

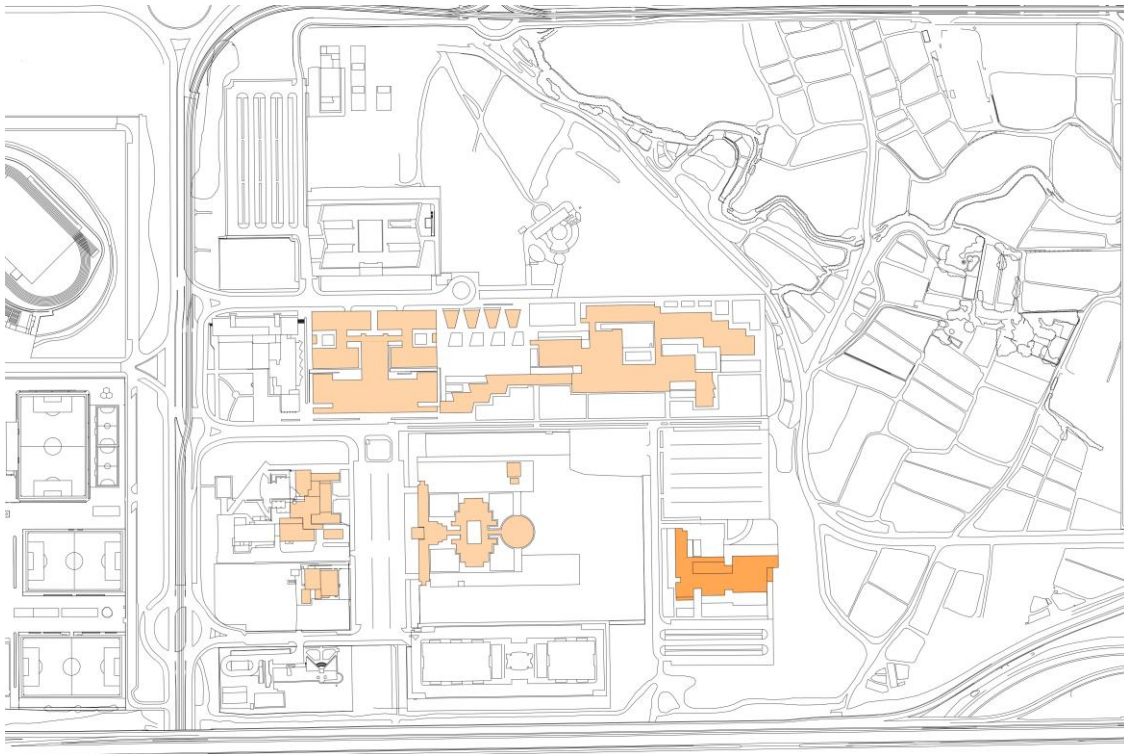


Ilustración 7: Plano de emplazamiento. Fuente. Elaboración propia



Ilustración 8: Imagen aérea del edificio Lorenzo Normante. Fuente: Google Earth

⁶¹ Franco, Tobías, y Pemán.

b. Planta sótano

En torno al núcleo de comunicaciones situado en el vértice de la 'L', se dispone de una planta sótano que cuenta con patio de instalaciones donde se ubica el grupo electrógeno y da acceso al recinto del centro de transformación. El resto de la planta está destinada para vestuarios, almacén, un cuarto de limpieza y una zona de instalaciones de climatización, electricidad y fontanería.⁶²

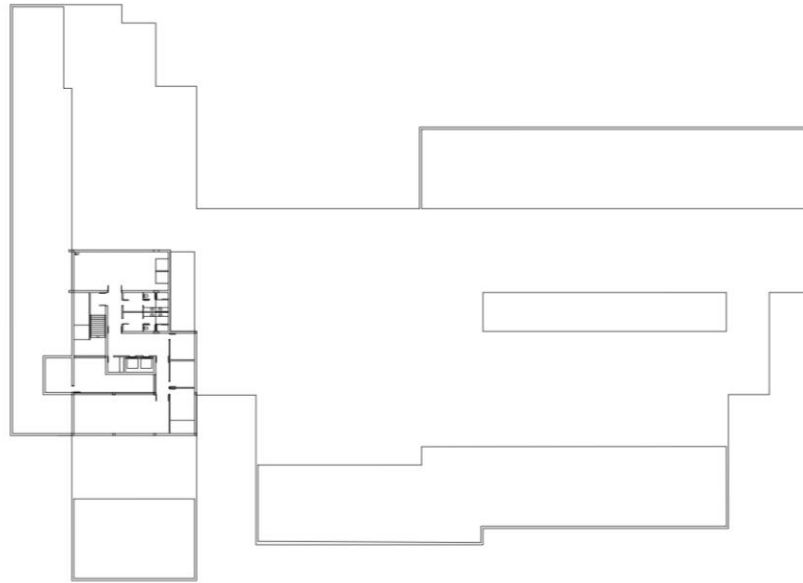


Ilustración 9. Planta sótano. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales.

c. Planta baja

El vestíbulo principal atraviesa transversalmente el edificio de norte a sur. En él se encuentra la zona de conserjería y el mostrador de atención al público. Además, una parte de este es un espacio a doble altura donde aparece una escalera adosada a un patio que permite establecer una estrecha relación espacial con la primera planta.⁶³

Desde este vestíbulo podemos acceder también al salón de actos (con capacidad de 272 plazas) por la parte posterior al estrado. El salón de actos posee además una entrada secundaria por la parte posterior desde la primera planta.⁶⁴

Perpendicular al vestíbulo discurre el espacio longitudinal de comunicación del bloque educativo. En el lado sur del pasillo se disponen, en esta planta, cinco aulas (dos de 160 plazas y el resto de 130) entre las que se intercala una batería de servicios. En el lado opuesto aparece,

⁶² Franco, Tobías, y Pemán.

⁶³ Franco, Tobías, y Pemán.

⁶⁴ Franco, Tobías, y Pemán.

en la zona central el acceso a la sala de estudios (con capacidad de 196 plazas de lectura) y reprografía, que resguarda la entrada a la sala de climatización del salón de actos. Adosado a la sala de estudio y apoyado en el patio interior se dispone el depósito de libros, conectado con la zona de trabajo del personal de la biblioteca mediante una escalera de uso interno y un monta-libros.⁶⁵

Este ala es colmatada en su extremo por la sala de climatización de la biblioteca y las salas destinadas para la delegación de alumnos.⁶⁶

En el punto de unión de la 'L', planteado como un volumen independiente con acceso desde el vestíbulo, se encuentra la cafetería, que se abre a un patio exterior que se prolonga hacia el sur. Esta cuenta con una cocina que tiene acceso independiente desde el exterior.⁶⁷

Por su parte, el bloque departamental se organiza mediante un corredor central que deja al oeste los despachos y las salas de administración, de juntas y de profesores; y orientadas al este se quedan los despachos de secretaría, subdirección y dirección.⁶⁸

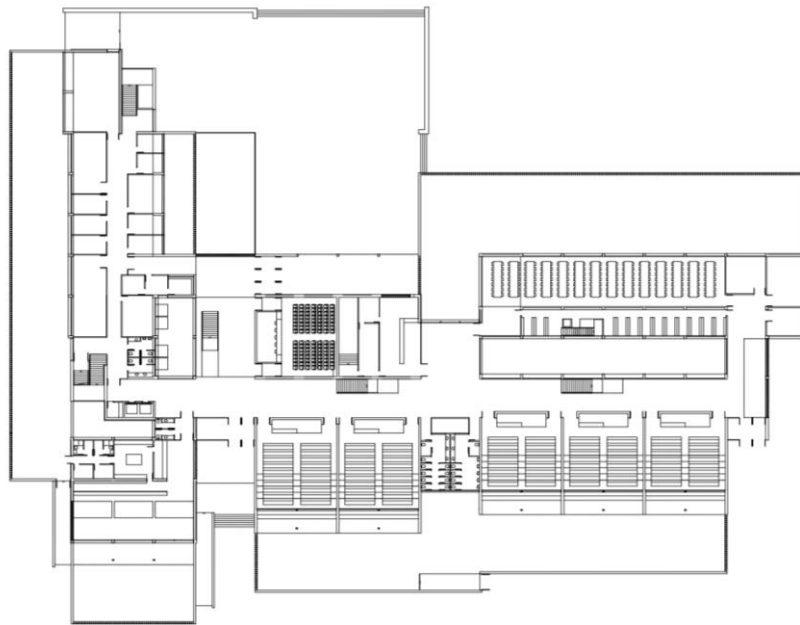


Ilustración 10. Planta baja. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

⁶⁵ Franco, Tobías, y Pemán.

⁶⁶ Franco, Tobías, y Pemán.

⁶⁷ Franco, Tobías, y Pemán.

⁶⁸ Franco, Tobías, y Pemán.

d. Planta primera

En esta planta, la zona docente cuenta con 5 aulas de 130 plazas, que se disponen en continuidad con la planta baja. Además, se produce el acceso al salón de actos, así como el de la biblioteca a través de la zona de préstamo y catálogo.⁶⁹

A su vez se sitúa la hemeroteca (con capacidad de 24 plazas y 150m de estantes), la sala de lectura (con capacidad de 110 plazas y 5800 volúmenes) y la sala de trabajo en grupo.⁷⁰

El bloque departamental se organiza análogamente, pero en este caso, el corredor separa dos franjas de despachos, interrumpidos únicamente por 2 salas de reuniones departamentales.⁷¹

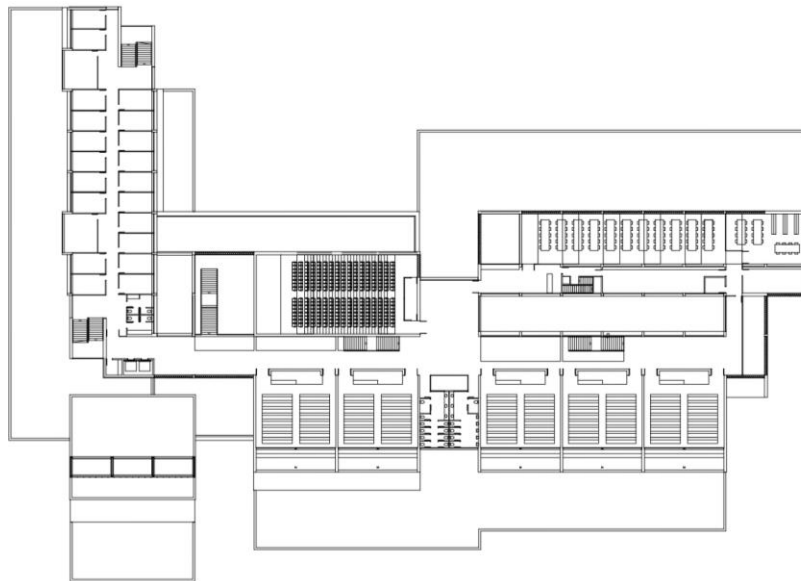


Ilustración 11. Planta primera. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

⁶⁹ Franco, Tobías, y Pemán.

⁷⁰ Franco, Tobías, y Pemán.

⁷¹ Franco, Tobías, y Pemán.

e. Planta segunda

El ala docente sube solo parcialmente hasta esta planta, quedando así el corredor limitado por la fachada al norte, las aulas (cuatro de 40 plazas) al sur, y en el extremo este el área de informática (dos salas de usuario, aula de informática y la sala de operador). El bloque departamental mantiene la organiza de la primera planta.⁷²

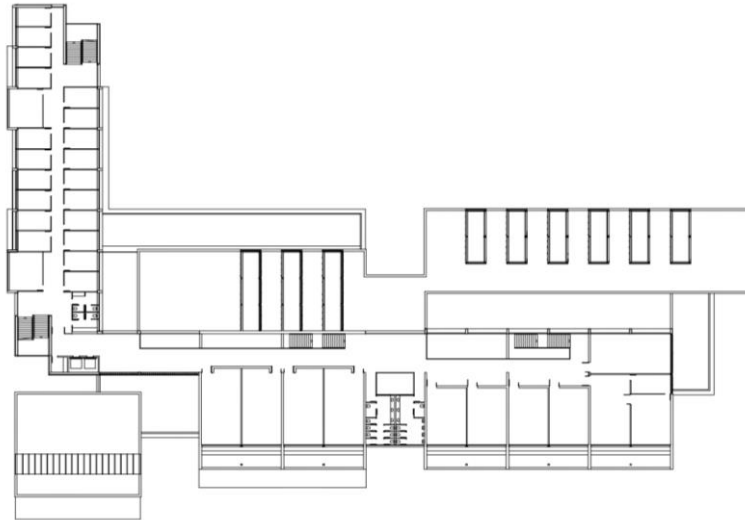


Ilustración 12. Planta segunda. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

f. Planta tercera

A esta planta solo sube el bloque departamental, que mantiene la misma organización que las dos plantas anteriores, y se realiza el acceso de mantenimiento a las cubiertas.⁷³

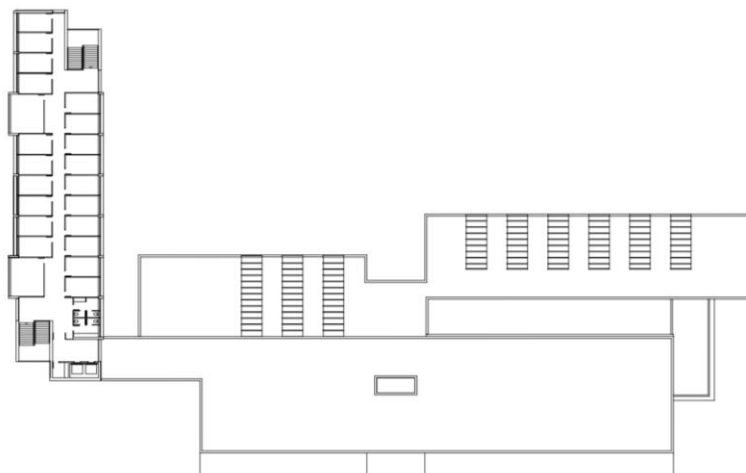


Ilustración 13. Planta tercera. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

⁷² Franco, Tobías, y Pemán.

⁷³ Franco, Tobías, y Pemán.

5. Descripción estructural

La cimentación de este edificio está compuesta por pilotes de tipo CPI-8 (pilote perforado con barrena continua) de una longitud media de 12 m a partir de la cota 0 y diámetros entre 350 y 650 mm. Exceptuando la cimentación para los pilares metálicos que sostienen las losas de hormigón situadas en los accesos en planta baja, que son cimentados mediante zanjas de cimentación, y después soldados a placas metálicas ancladas a la masa de hormigón.⁷⁴

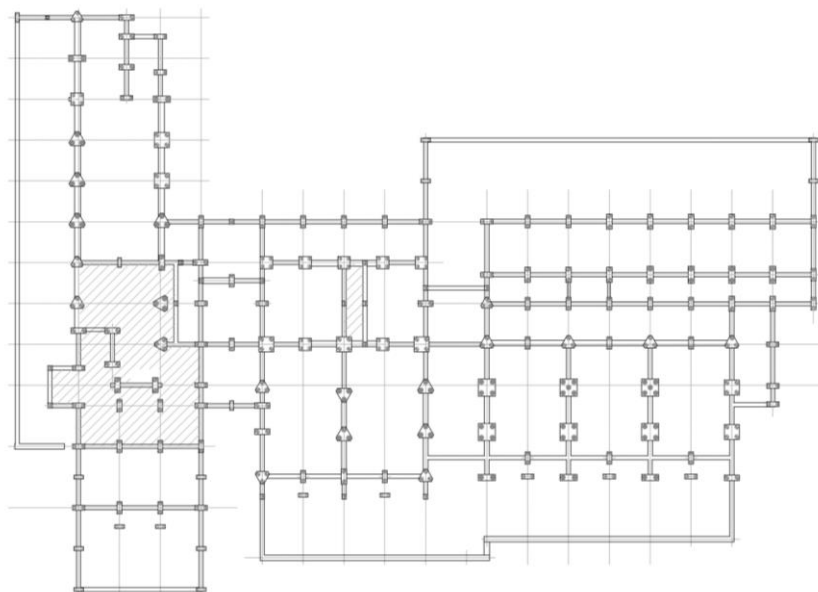


Ilustración 14: Plano cimentaciones. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

El sótano, gracias a las buenas características del terreno, se construyó a base de muros de sótano de 30 cm de ancho encofrados a dos caras, empleando una imprimación asfáltica para impermeabilizarlo por su trasdós.⁷⁵

La estructura del edificio está formada por pilares, pantallas, jácnas de cuelgue, losas y forjados alveolares, que se organizan en pórticos generalmente paralelos a fachada.⁷⁶

Las pantallas las encontramos en los laterales de las aulas y las escaleras del bloque departamental, así como en los núcleos de comunicación. Los forjados alveolares son de hormigón armado H-250, con dimensiones de 90 cm de ancho y 30 cm de canto, con una capa de compresión de 5 cm. Estos, o las losas situadas en los rellanos de las escaleras y los porches

⁷⁴ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

⁷⁵ Franco, Tobías, y Pemán.

⁷⁶ Franco, Tobías, y Pemán.

de acceso, se disponen sobre los talones de las jácenas de cuelgue disponiendo una banda de neopreno entre estos.⁷⁷

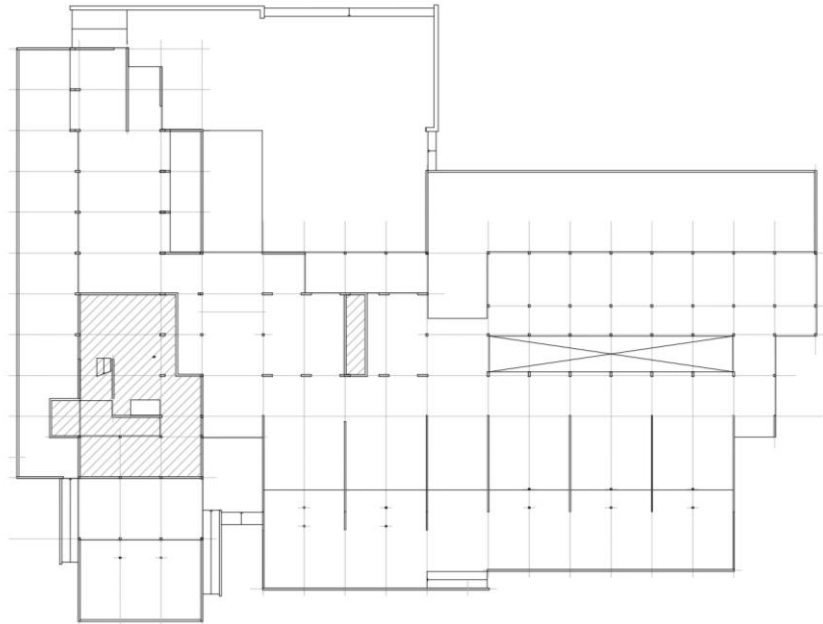


Ilustración 15. Planta sótano estructural. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

El desnivel en las aulas y el salón de actos se resuelven escalonando las placas alveolares, apoyadas en muretes adosados a las pantallas laterales de hormigón.⁷⁸

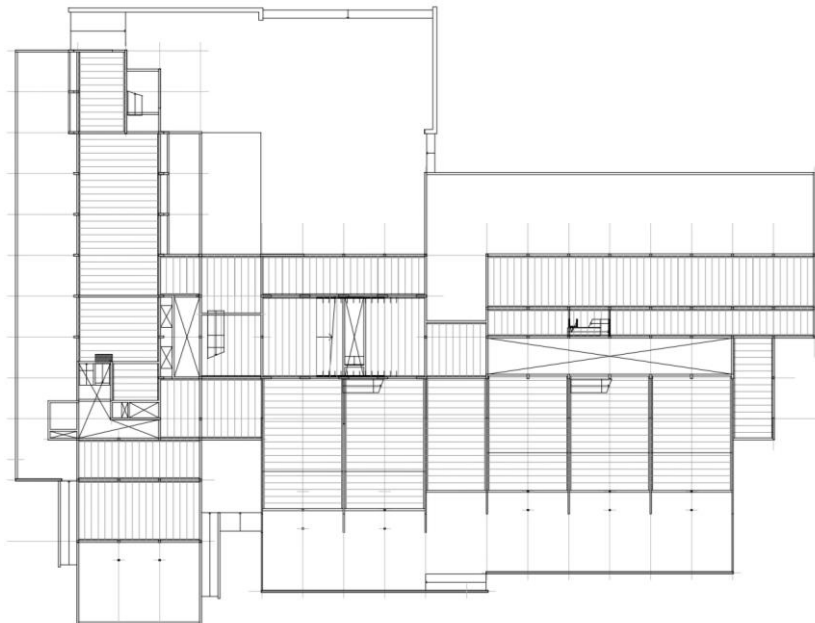


Ilustración 16. Planta baja estructural. Fuente: elaboración propia a partir de planos originales

⁷⁷ Franco, Tobías, y Pemán.

⁷⁸ Franco, Tobías, y Pemán.

6. Descripción constructiva

a. Elementos en contacto con el terreno

I. Muro de sótano

Compuesto por un muro de Hormigón armado H-250 AEH-500 N de 30cm de espesor, impermeabilizado por el exterior con oxiasfalto y recubierto por el interior con un trasdosado de Pladur Therm 13+20 mm. Lo encontramos conformando el sótano.⁷⁹

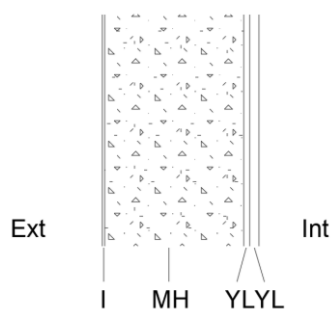


Ilustración 18: Esquema del sistema constructivo del muro de sótano.
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 17: Esquema ubicación de muros pantalla. Fuente: elaboración propia.

II. Solera

Se trata de una solera de hormigón armado de 15 cm de espesor sobre lámina aislante, asentada en 30 cm de enchado de grava y pavimentada con terrazo de microgramo granítico 60 x 60 de 3 cm adherido con una capa de 4 cm de mortero. Este tipo de cerramiento conforma la totalidad del suelo de la planta sótano.⁸⁰

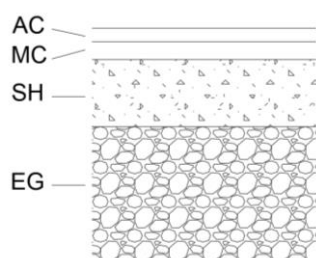


Ilustración 20: Esquema del sistema constructivo de la solera.
Fuente: Elaboración propia



Ilustración 19: Esquema ubicación solera.
Fuente: Elaboración propia

⁷⁹ Franco, Tobías, y Pemán.

⁸⁰ Franco, Tobías, y Pemán.

III. Forjado sanitario

El suelo de la planta baja que se encuentra en contacto con el terreno se resuelve mediante un forjado sanitario compuesto por una cámara de aire de 60 cm, un forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado H-250 AEH-500 N (30 + 5) y un acabado de pavimento de terrazo micrograno granítico 60 x 60 (a excepción de los espacios destinados a salón de actos, biblioteca y sala de estudios que poseen un pavimento de linóleo de 3.2 mm de espesor).⁸¹

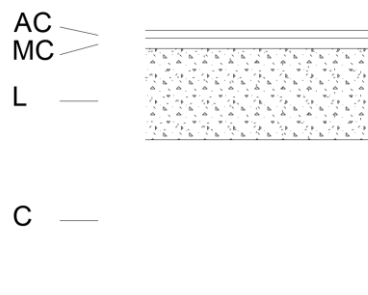


Ilustración 21: Esquema del sistema constructivo del forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia

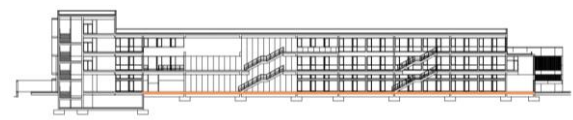


Ilustración 22: Esquema ubicación forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia

b. Fachadas

I. Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND

Encontramos este tipo de fachada en gran parte del bloque departamental. El cerramiento consiste en una fachada con cámara de aire muy ventilada. El soporte se realiza a través de bloques de termoarcilla trasdosados por el interior con cartón-yeso ($e=29\text{mm}$) y recubiertos por el exterior con poliestireno extruido de 4 cm, interrumpido por la perfilería metálica de sujeción de los paneles de ALUCOBOND (2 láminas de aluminio de 0.5 mm y un núcleo central de poliestireno de 3 mm) que conforma la cámara de aire de 11.7 cm.⁸²

En el paso de los pilares y jácenas se coloca por el interior un poliestireno expandido de 2 cm.⁸³

⁸¹ Franco, Tobías, y Pemán.

⁸² Franco, Tobías, y Pemán.

⁸³ Franco, Tobías, y Pemán.

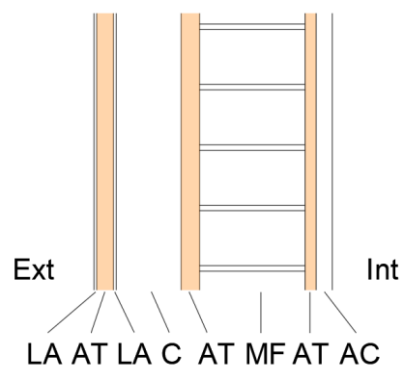


Ilustración 23: Esquema del sistema constructivo de la fachada revestida de ALUCOBOND. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 24: Esquema ubicación fachada ALUCOBOND. Fuente: Elaboración propia

I. Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón

Se trata del cerramiento que forma los testeros de las aulas, así como las pantallas de escaleras y ascensores. Están formados por pantallas de hormigón de 20 cm, trasdosadas por el interior por placas de pladur-metal de 29 mm con 2 cm de poliestireno expandido. En el exterior van revestidas por paneles de GRG (compuestos por 2 láminas de GRC de 1 cm y una placa de poliestireno expandido de 8cm).⁸⁴

El G.R.C. (que son las siglas de "Glas Reinforced Concrete") es un material compuesto por una matriz de mortero de cemento que va armado con fibra de vidrio especial resistente a los álcalis liberados en la hidratación del cemento Portland. Entre sus ventajas encontramos la gran resistencia a compresión, flexión, tracción e impacto gracias a la fibra presente en él. Es incombustible, impermeable y muestra buena resistencia ante los agentes atmosféricos.⁸⁵

Una aplicación es la generación de paneles, como los que encontramos en este edificio, que se consideran paneles ligeros por su peso habitualmente inferior a 200 Kg/m². El uso más frecuente es incorporándolo en un panel sándwich, utilizando dos capas exteriores de GRC dejando en su interior un núcleo de una o más capas de poliestireno expandido u otro material aislante.⁸⁶

⁸⁴ Franco, Tobías, y Pemán.

⁸⁵ Del Águila, «Paneles de fachada prefabricados de G.R.C.»

⁸⁶ Del Águila.

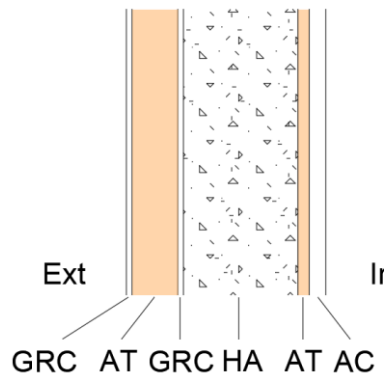


Ilustración 26: Esquema del sistema constructivo de la fachada de G.R.C. sobre pantalla de hormigón.
Fuente: Elaboración propia

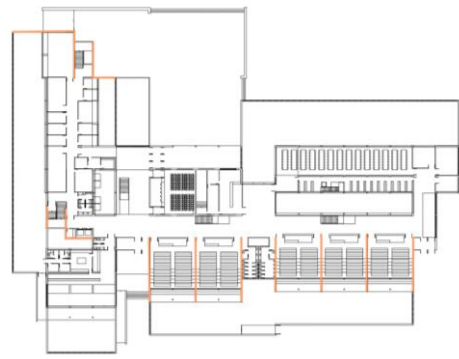


Ilustración 25: Esquema ubicación fachada G.R.C sobre pantalla de hormigón. Fuente: Elaboración propia

II. Fachada de G.R.C sobre paredes de termoarcilla

La mayor parte de los cerramientos no acristalados de las fachadas del edificio tienen esta solución. Consiste en una pared de una hoja de bloque de termoarcilla de 24 cm, trasdosado por el interior mediante una placa de Pladur-metal, que contará con un aislamiento de poliestireno expandido de 2 cm. En el exterior van revestidas por paneles de GRG (compuestos por dos láminas de GRC de 1 cm y una placa de poliestireno expandido de 8cm) separados 6 cm del muro.⁸⁷

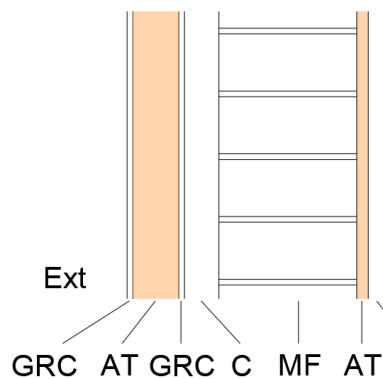


Ilustración 28: Esquema del sistema constructivo de la fachada de G.R.C. sobre pared de termoarcilla.
Fuente: Elaboración propia

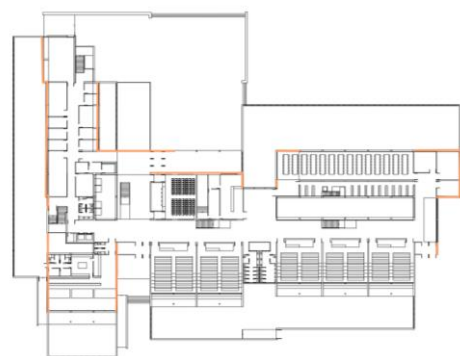


Ilustración 27: Esquema ubicación fachada G.R.C sobre pared de termoarcilla. Fuente: Elaboración propia

⁸⁷ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

c. Cubierta

El forjado que hace la función de soporte de la cubierta está formado por losas alveolares prefabricadas de hormigón armado H-250 AEH-500 N (30 + 5). Sobre esta se encuentra la formación de pendiente de hormigón celular, a la que se le aplica una imprimación asfáltica. Posteriormente se añade la lámina impermeable y dos paneles de poliestireno extruido de 6 cm. Sobre esto se coloca el acabado que consiste una capa de 5 cm de canto rodado. Por el interior se deja una cámara de aire de 43.5 cm que permite pasar todas las instalaciones necesarias y se cubre con un cielorraso acústico de 1.5 cm.

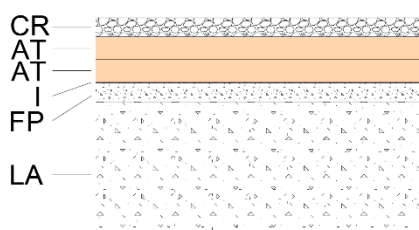


Ilustración 30: Esquema del sistema constructivo de la cubierta. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 29: Esquema ubicación cubierta. Fuente: Elaboración propia

d. Carpinterías exteriores

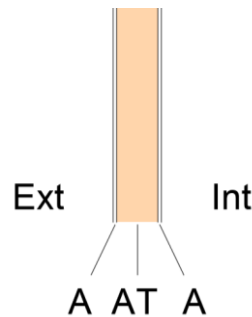
I. Lucernario - parte ciega (fachada y cubierta)

Se trata de un cerramiento con paneles Perfrisa (compuestos por dos paneles de chapa de acero (de 0.8 mm cada una) y un corazón de espuma de poliuretano de 6 cm) sujetos mediante perfiles metálicos.⁸⁸

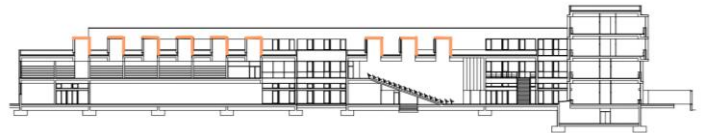
Los paneles Perfrisa son una tipología de panel sándwich compuesta por tres elementos: una cara exterior de acero lacado conformado en frío (presentando excelente resistencia a la corrosión y una resistencia mecánica media especialmente indicada para su utilización en fachadas); una cara interior formada por una chapa de acero galvanizada y lacada; y el aislamiento térmico que se encuentra comprendido entre ambos perfiles, y

⁸⁸ Franco, Tobías, y Pemán.

se coloca mediante inyección de espuma rígida de poliuretano. Se fabrican en una línea continua y se cortan a la longitud deseada.⁸⁹



*Ilustración 32: Esquema del sistema constructivo de la parte ciega del lucernario.
Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 31: Esquema ubicación parte ciega lucernario.
Fuente: Elaboración propia*

II. Carpintería de aluminio (ventanas)

Se trata de ventanas practicables FC con juntas de estanqueidad de E.P.D.M. (etileno - propileno - dieno - monómero). En la memoria la cualifican con una transmitancia térmica global de la ventana es de $3.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ y una estanqueidad al aire: Reforzada A3,⁹⁰ lo que quiere decir, si lo comprobamos en la normativa vigente en el momento de construcción, NBE-CT-79, que como mínimo su permeabilidad al aire es de $7\text{m}^3/\text{hm}^2$ cuando la diferencia de presión del es de 100Pa.

Toda la carpintería de aluminio irá acristalada con vidrio de doble hoja tipo Climalit, constituido por una hoja exterior de 5 mm, una hoja interior laminar de 4 + 4 mm y cámara de aire de 12 mm de espesor.⁹¹

III. Carpintería de acero (puertas y mamparas)

Realizadas con perfiles de chapa de acero galvanizado, calidad DIN 17162, lacadas en color gris metalizado. La parte transparente se forma con vidrio laminar 5 + 5 mm.⁹²

⁸⁹ ACERALIA CONSTRUCCION, «Panel Perfrisa. Paneles fachada».

⁹⁰ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

⁹¹ Franco, Tobías, y Pemán.

⁹² Franco, Tobías, y Pemán.

e. Tabiquería, forjados y carpinterías interiores

I. Forjado

Consiste en un forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado H-250 AEH500 N (30 + 5), al cual se colmata bien con un pavimento de terrazo microgramo granítico 60 x 60 de 3 cm de espesor sujeto con una capa de mortero o bien con un pavimento de linóleo de 3.2 mm cuando este se encuentra en el salón de actos, la biblioteca o la sala de estudios.⁹³

En su parte inferior encontramos un falso techo formado por una cámara de aire de 46.5 cm y un cielorraso acústico de 1.5 cm, por donde se distribuyen los conductos necesarios de las distintas instalaciones.⁹⁴

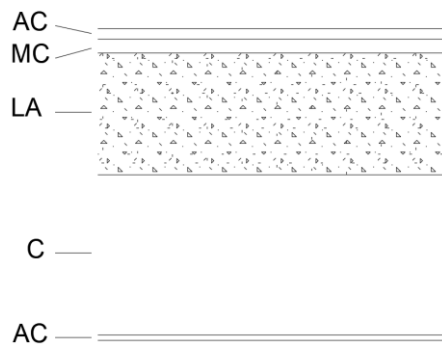


Ilustración 34:Esquema del sistema constructivo del forjado. Fuente: Elaboración propia



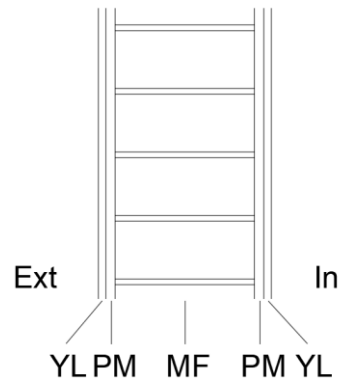
Ilustración 33:Esquema ubicación forjado. Fuente: Elaboración propia

⁹³ Franco, Tobías, y Pemán.

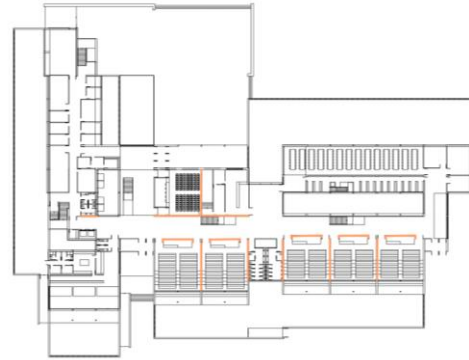
⁹⁴ Franco, Tobías, y Pemán.

II. Tabique 30cm

Está formado por una hoja de bloque de termoarcilla aligerado de 24 x 30 x 19 revestido por ambas caras por una placa de cartón-yeso de 13 mm de espesor sujeto a este a través de una perfilería metálica de 16 mm.⁹⁵



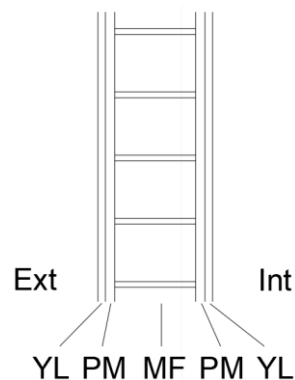
*Ilustración 35: Esquema del sistema constructivo del tabique de 30cm.
Fuente: Elaboración propia*



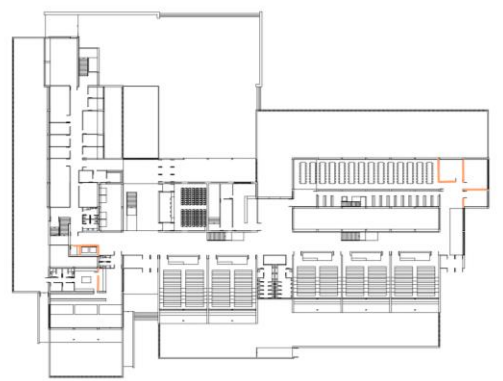
*Ilustración 36: Esquema ubicación tabique 30cm.
Fuente: Elaboración propia*

III. Tabique 20cm

Está formado por una hoja de bloque de termoarcilla aligerado de 14 x 30 x 19 revestido por ambas caras por una placa de cartón-yeso de 13 mm de espesor sujeto a este a través de una perfilería metálica de 16 mm.⁹⁶



*Ilustración 37: Esquema del sistema constructivo del tabique de 20cm.
Fuente: Elaboración propia*



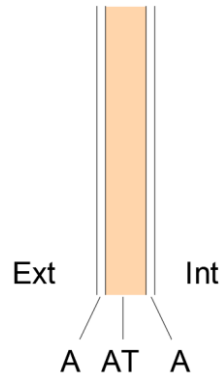
*Ilustración 38: Esquema ubicación tabique 20cm.
Fuente: Elaboración propia*

⁹⁵ Franco, Tobías, y Pemán.

⁹⁶ Franco, Tobías, y Pemán.

IV. Tabique de Cartón-yeso (planta baja)

Situados en el bloque departamental y en los aseos, el tabique está formado por paneles de cartón-yeso con un sistema tipo pladur-metal, formado por placas de cartón-yeso de 15 mm, atornilladas a perfiles galvanizados de 70 mm. La cámara interior es rellena con paneles de fibra de vidrio.⁹⁷



*Ilustración 39: Esquema del sistema constructivo del tabique de cartón-yeso.
Fuente: Elaboración propia*

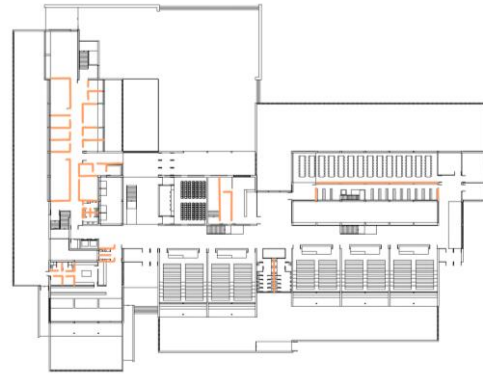


Ilustración 40: Esquema ubicación tabique cartón-yeso. Fuente: Elaboración propia

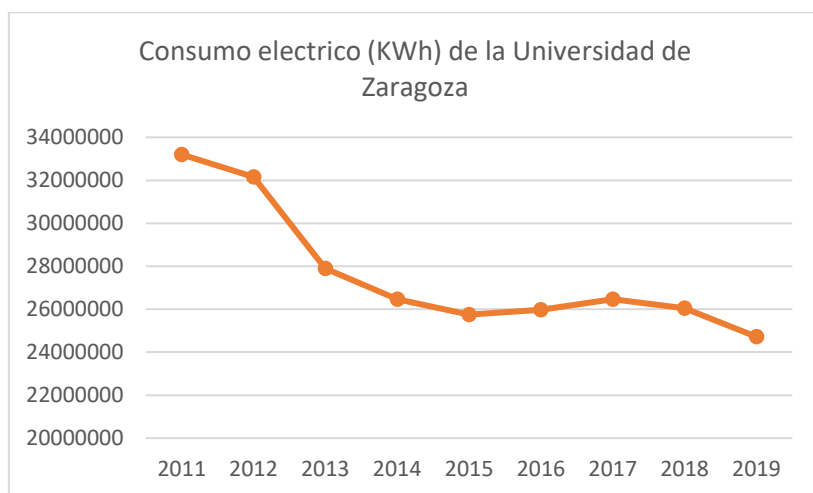
⁹⁷ Franco, Tobías, y Pemán.

7. Análisis de consumo

8.1 Contexto energético

Para poder entender el comportamiento del Edificio Lorenzo Normante dentro de un contexto mayor, es interesante realizar un análisis comparativo de los edificios pertenecientes a la Universidad de Zaragoza.

Antes de nada, es importante observar el Grafico 2, donde aparece la evolución del consumo eléctrico del conjunto de inmuebles que forman la Universidad de Zaragoza. En dicho gráfico podemos apreciar que durante los años comprendidos entre 2011 y 2015 se registra una reducción de casi 7.5 millones de KWh (-22.43%) reflejo de los esfuerzos llevados a cabo por la Oficina Verde en este ámbito. Los años siguientes (2016 y 2017) se produjo una pequeña remontada de entorno a un 3% (unos 700.000 KWh) para continuar con esa tendencia decreciente en los años 2018 y 2019, disminuyendo algo más de 1.75 millones de KWh (un 6.62%).⁹⁸



Gráfica 2: Evolución del consumo eléctrico de la Universidad de Zaragoza según datos de la Oficina Verde.
Fuente: Elaboración propia

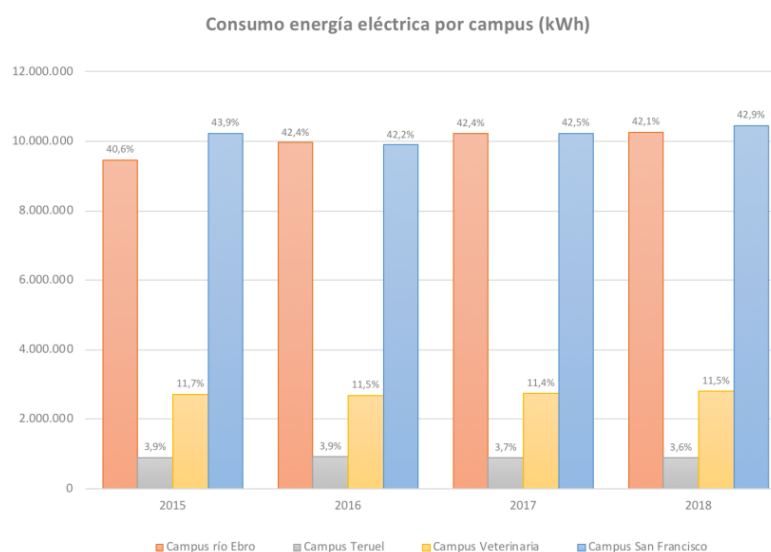
En los gráficos posteriores se omite el Campus de Huesca debido a la falta de datos sobre sus edificios⁹⁹

En el gráfico 3 se muestra el reparto del consumo eléctrico de la universidad de Zaragoza repartido en los distintos Campus de la Universidad de Zaragoza. Aquí, se puede ver como el mayor consumo se produce en el Campus San Francisco (debido a la cantidad y tamaño de sus edificios) y en el Río Ebro (por las instalaciones de investigación que poseen algunos de sus edificios, especialmente el Edificio I+D).¹⁰⁰

⁹⁸ «Consumo energético de la UZ (electricidad y gas) | Oficina verde».

⁹⁹ Monforte, «Trabajo Fin de Grado: Estudio de la eficiencia energética en edificios UNIZAR a través de datos suministrados por la oficina verde 2015-2018.»

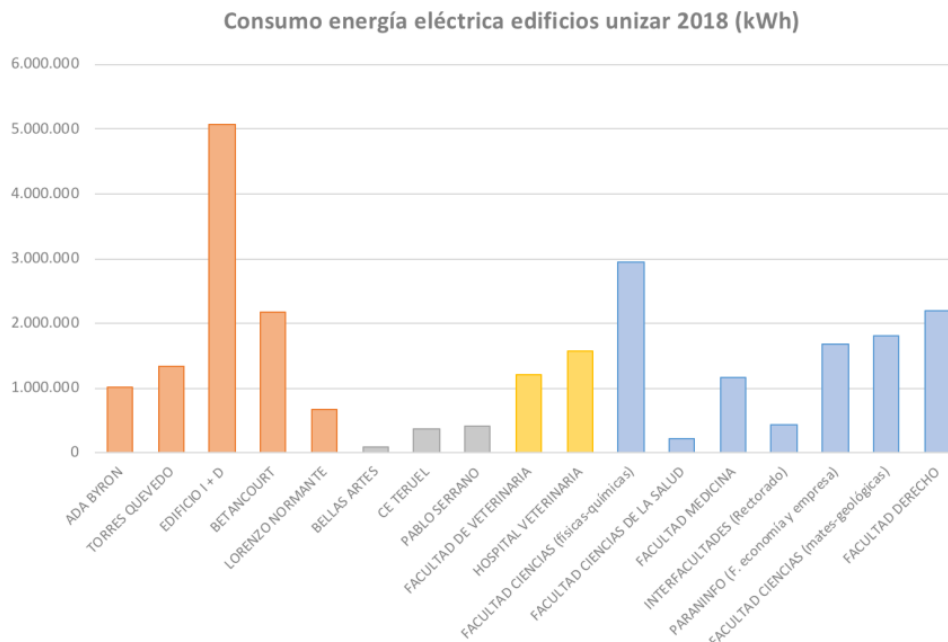
¹⁰⁰ Monforte.



Gráfica 3: Evolución del consumo eléctrico por campus universitario en 2015-2018.

Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte

Además, en el gráfico 4, podemos apreciar la energía eléctrica consumida por cada uno de los edificios de los distintos campus durante el año 2018. Se puede apreciar que los edificios de mayor consumo dentro del Campus Río Ebro son el Edificio de I+D y el Betancourt, mientras que en el Campus San Francisco destaca la Facultad de Ciencia (física – química) y la Facultad de Derecho.¹⁰¹



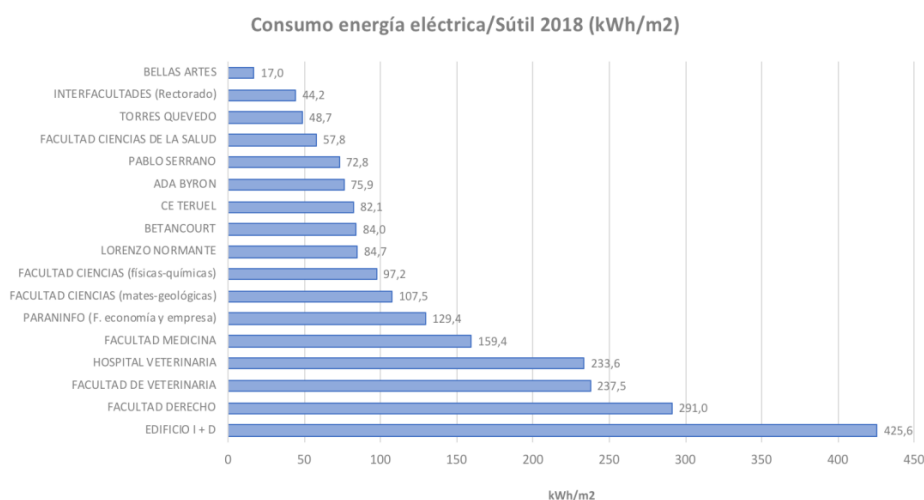
Gráfica 4: Consumo eléctrico de los edificios de la Universidad de Zaragoza en el año 2018.

Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte

¹⁰¹ Monforte.

En el gráfico anterior, el consumo producido por el edificio objeto de este análisis, el Edificio Lorenzo Normante, pasa desapercibido, siendo el que consume la menor cantidad de energía dentro del Campus Rio Ebro.

Para poder realizar un juicio objetivo y real, es necesario relacionar el consumo con la superficie útil de cada edificio. Esto se realiza en el gráfico 5 donde no sorprende que el edificio I+D siga dominando esta ratio, ni que el Edificio de Bellas artes sea el menor. Sin embargo, sí que cabe destacar como, al realizar la comparativa con la superficie útil, el Edificio Lorenzo Normante pasa a ocupar el segundo lugar más alto dentro del Campus Rio Ebro, solo superado por el Edificio I+D. Esto quiere decir, que pese a tener un consumo relativamente bajo en comparación con otros, su eficiencia es muy baja.¹⁰²



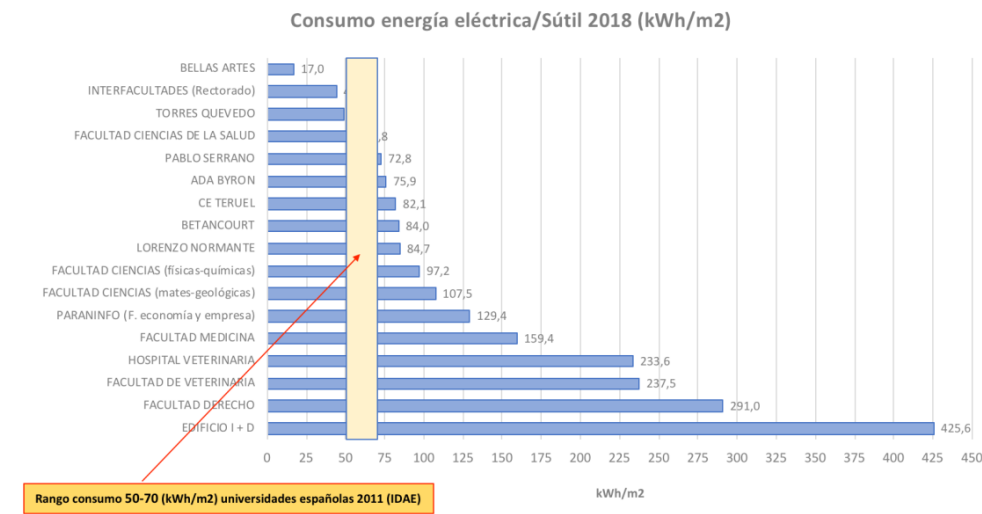
*Gráfica 5: Consumo eléctrico por superficie útil de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2018.
Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte*

Por último, si esto lo comparamos con el rango de consumo medio por superficie de las universidades españolas (50-70 kWh/m²), gráfico 6, podemos observar como la mayoría de los edificios de la Universidad de Zaragoza sobrepasan esta media (incluyendo el Edificio Lorenzo Normante)

Como dato adicional, es importante mencionar el papel del consumo Stand-by dentro del consumo eléctrico del horario nocturno. En tabla 6 se ve la comparativa de potencia media en stand-by en 2017 y 2020 en los distintos edificios de la Universidad de Zaragoza. Donde destaca el gran descenso sufrido por el Edificio Lorenzo Normante. Esto se debe a que la Confederación Hidrográfica del Ebro obligo a instalar una sonda de temperatura y caudalímetro en todos los pozos de la Universidad de Zaragoza (tanto en inyección como en captación) y realizar reportes mensuales informando de la evolución y estado del pozo, gracias a lo cual se pudo apreciar el mal funcionamiento de las bombas de los pozos del edificio, que permanecían en uso constante.¹⁰³

¹⁰² Monforte.

¹⁰³ Vicioso Palacín, «Trabajo Fin de Grado: Análisis de metodologías para el estudio de la rehabilitación de edificios universitarios en UNIZAR. Caso de estudio Edificio Lorenzo Normante.»



Gráfica 6: Comparación del consumo eléctrico por superficie útil de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2018 y las universidades españolas en 2011 según IDAE. Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte

Potencia media STAND-BY	2017 (kW)	2020 (kW)	Evolución (%)
Edificio de Institutos I+D	490	499	1,8%
Facultad de Ciencias	200	197	-1,5%
Hospital de Veterinaria	160	127	-20,6%
Matemáticas-Geológicas	127	150	18,1%
Lorenzo Normante	125	26	-79,2%
Edificio Betancourt	90	95	5,6%
Paraninfo – F. de Economía y Empresa	82,5	89	7,9%
Facultad de Derecho	75	64	-14,7%
Facultad de Veterinaria	75	86	14,7%
Facultad de Medicina	60	64	6,7%
Torres Quevedo	60	-	-
Ada Byron	40	43	7,5%
Politécnica de Huesca	27,5	39	41,8%
Inter-Rectorado	26	23	-11,5%
CMU Pablo Serrano	25	26	4,0%
Centro de Estudios de Teruel	22	44	100,0%
F. Ciencias de la Salud	8	12	50,0%
Bellas Artes	7,5	13	73,3%

Tabla 6: Stand-by de los edificios de la Universidad de Zaragoza en 2017 y 2020. Fuente: TFG Pablo Adiego Monforte

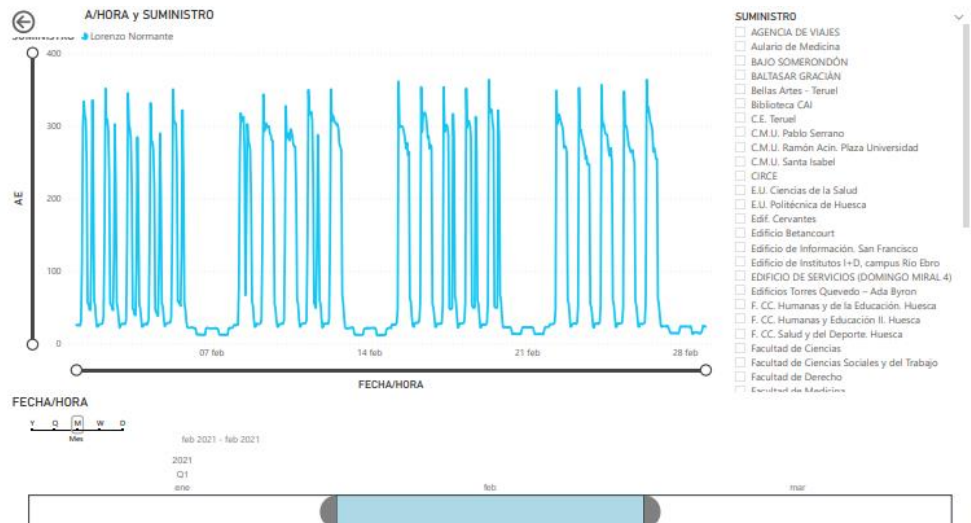
8.2 Datos obtenidos de SCADA

En el Edificio Lorenzo Normante hay implantado un programa de gestión de servicios de mantenimiento llamado SCADA (Supervisory Control and Data Adquisition). Este programa es capaz de encargarse del control, la gestión y la adquisición de datos eléctricos y térmicos del edificio en el que está implantado, pudiendo controlar los consumos e instalaciones eléctricas, la climatización, el agua caliente sanitaria, la iluminación y el alumbrado público de los distintos edificios universitarios. Permite visualizar los datos de forma gráfica o numérica.¹⁰⁴

Sin embargo, en el Edificio Lorenzo Normante, al no haberse implantado un sistema de actuación sobre la producción, el programa SCADA no permite controlar el comportamiento del edificio, solo se emplea para recopilar datos (como las temperaturas de los diferentes espacios, la temperatura de consigna, los horarios de funcionamiento de climatización...). Para realizar las actuaciones cuenta con un sistema de gestión de datos mediante Johnson Controls, implantado en el momento de su construcción. Actualmente, el servicio de mantenimiento junto con la Oficina Verde, están focalizando sus esfuerzos en migrar hacia la implementación del SCADA para poner a comandar con un único sistema todos los edificios universitarios.¹⁰⁵

Gracias a SCADA podemos visualizar los datos en diferentes rangos temporales. Si optamos por una visión amplia a un mes vista.

Por ejemplo, podemos conseguir un gráfico del consumo eléctrico del mes de febrero de 2021.



Gráfica 7: Evolución del consumo eléctrico, febrero 2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA

En la gráfica 7 observamos los picos iniciales de los días laborales, y como muchos días se opta por una parada de máquinas a medio día. Esto se debe a que la Oficina Verde, junto con el

¹⁰⁴ Vicioso Palacín.

¹⁰⁵ Vicioso Palacín.

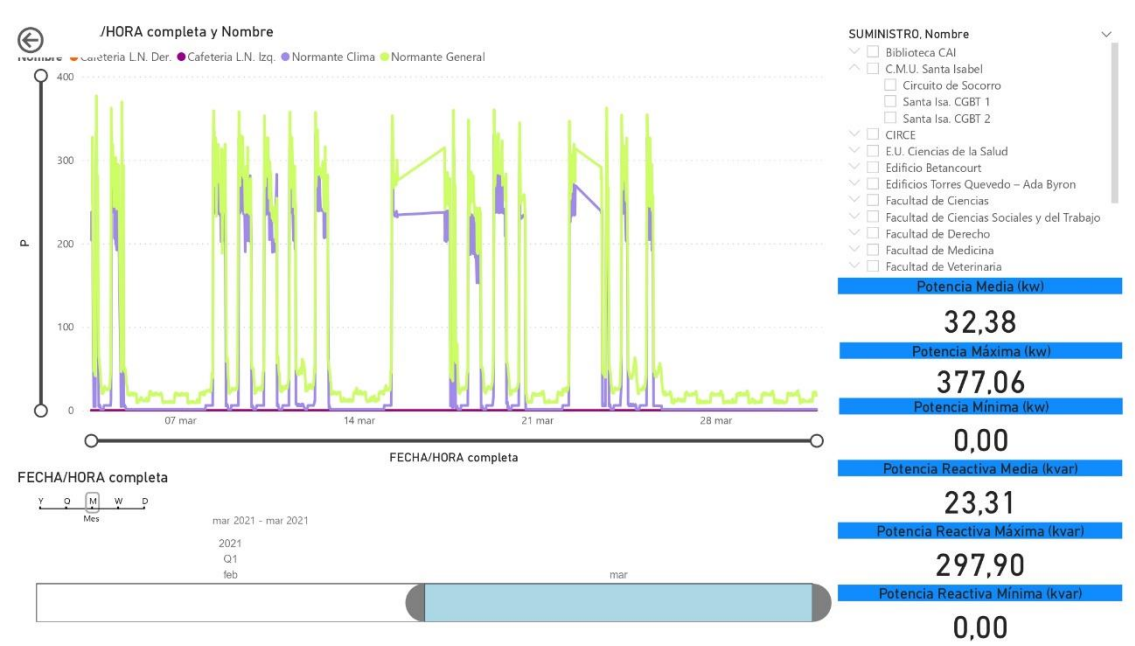
Marzo (2021)						
L	M	X	J	V	S	D
1	2	3	4	5	6	7
8	9	10	11	12	13	14
15	16	17	18	19	20	21
22	23	24	25	26	27	28
29	30	31				

Días festivos	
	5: Cincomarzada
	26: San Braulio
	27-3 al 5-4: Semana Santa

Ilustración 41: Calendario laboral de marzo de 2021 según Universidad de Zaragoza. Fuente: Elaboración propia

Aparecen varios patrones anómalos, como el reducido consumo de los días 15, 22 y 23, considerando que son días lectivos, así como el gran consumo del sábado 20, probablemente debido a la celebración de algún congreso u oposición. Sin embargo, la anomalía más llamativa es el consumo nulo de electricidad del día 16.

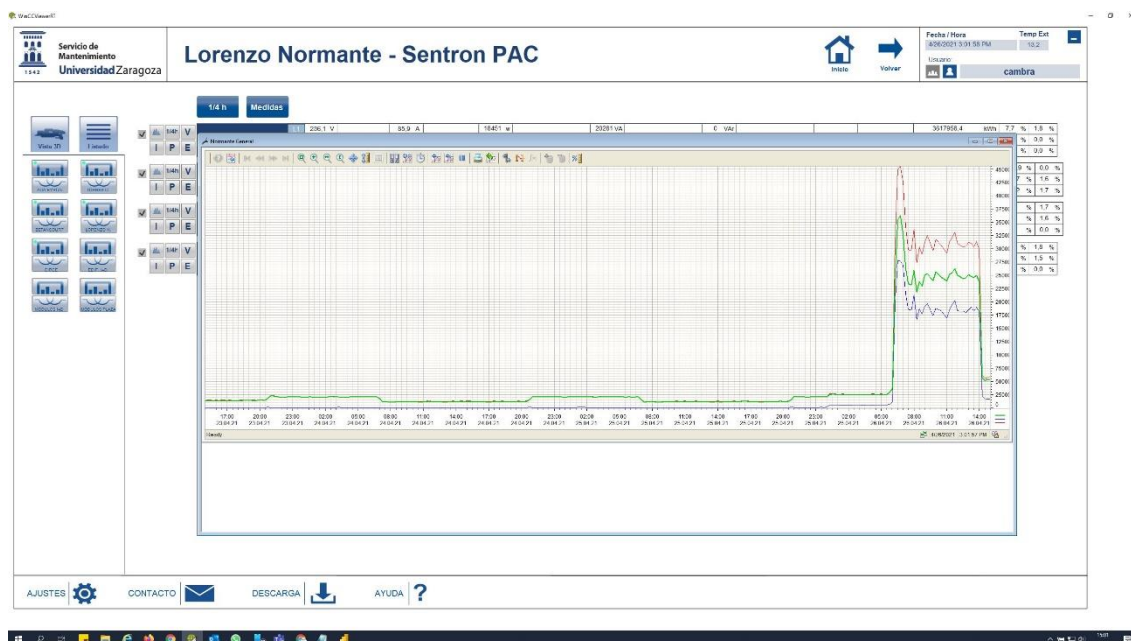
La Oficina Verde me suministro además el siguiente gráfico donde se muestran las potencias consumidas a lo largo del mes de marzo de 2021.



Gráfica 9: Potencia eléctrica diaria diferenciado de energía eléctrica, marzo 2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA

Con él, podemos confirmar que las anomalías de los días 15, 22, 23 y 16 se deben simplemente al fallo de los analizadores de redes, que dejaron de transmitir información.

Por último, el gráfico 10 nos muestra el consumo de potencia de los climatizadores a una escala menor, pudiendo diferenciar lo sucedido en cada hora con mayor detalle.



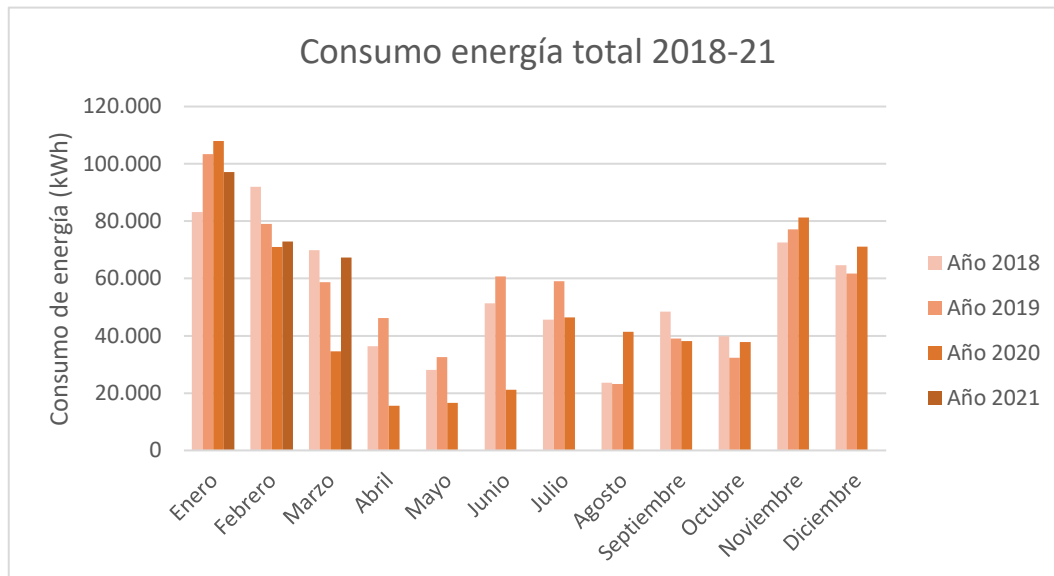
Gráfica 10: Consumo eléctrico diferenciado horario día 26-4-2021. Fuente: Oficina Verde y SCADA

Aquí podemos apreciar el primer pico referente a la puesta en marcha de las máquinas a las 6:00 am produciéndose el pico de máximo consumo. Tras la llegada a dicho pico se aprecia una caída del consumo, debido a la regulación manual del clima por parte de los trabajadores, tras alcanzar la temperatura deseada.¹⁰⁷ A las 14:00 se apagan las máquinas produciéndose un descenso del consumo hasta unos 15000 W correspondiente a la iluminación exterior nocturna que funciona, en esa época del año, desde las 20:30 hasta las 7:00.

¹⁰⁷ Vicioso Palacín.

7.3. Consumo eléctrico

Gracias al registro de facturas facilitado por la Oficina Verde ha sido posible realizar un análisis global del consumo eléctrico desde enero del año 2018 hasta abril del 2021.



Gráfica 11: Consumo de energía real extraído de facturas aportadas por la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

	Consumo de energía (kWh)						
	Año 2018	%	Año 2019	%	Año 2020	%	Año 2021
Enero	83.152	124	103.387	104	107.951	90	97.150
Febrero	91.989	86	79.064	90	71.001	103	72.850
Marzo	69.829	84	58.703	59	34.544	195	67.284
Abril	36.323	127	46.197	34	15.640		
Mayo	28.085	116	32.588	51	16.571		
Junio	51.360	118	60.681	35	21.139		
Julio	45.600	129	59.007	79	46.422		
Agosto	23.667	98	23.162	179	41.346		
Septiembre	48.424	81	39.031	98	38.211		
Octubre	39.794	81	32.338	117	37.879		
Noviembre	72.534	106	77.174	105	81.327		
Diciembre	64.666	95	61.702	115	71.103		
Total, por año	655.423	103	673.034	87	583.134		

Tabla 7: Consumo de energía real y porcentaje de variación extraído de facturas aportadas por la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

Los datos presentados en el gráfico 11 y la tabla 7 a simple vista no revelan ninguna sorpresa: los meses de mayor consumo coinciden con el tramo de invierno (de noviembre a marzo), cuando el consumo de climatización es mayor, así como los días son más cortos y la necesidad

de horas de iluminación artificial aumentan; Los meses de abril y mayo son los de menor consumo, pese a que el edificio sigue con uso escolar, debido a que el clima de Zaragoza permite en muchas ocasiones que no sea necesario climatizar el edificio; En julio hay un aumento de consumo por la necesidad de refrigeración, que vuelve a reducirse en el mes de agosto debido al cierre energético acontecido durante la primera quincena de dicho mes aprobado por la Universidad de Zaragoza en el Protocolo de Actuaciones del Plan de Racionalización en materia de ahorro de consumos de energía y agua de la Universidad de Zaragoza (Resolución de 31 de enero de 2013) que desarrolla dicho Plan de Racionalización actualizado en noviembre de 2016.¹⁰⁸

Al observar los consumos del año 2020, no debe sorprendernos (ni son datos que podamos usar para realizar ningún tipo de análisis estadístico) el descenso de hasta un 66% que se produjo en los meses afectados por el confinamiento debido a la pandemia de Covid-19 (entre marzo y junio). Durante esos meses la totalidad de la enseñanza se producía de manera telemática. Desde el 15 de marzo hasta el 17 de mayo los edificios permanecieron cerrados (sin embargo, el consumo de estos meses no es nulo debido a la iluminación nocturna y a que los equipos permanecieron encendidos para que se pudiese acceder remotamente). Además, este mismo año, se observa que en agosto se produce un aumento del 79% del consumo comparado con los años anteriores debido a que como excepción y debido a que los centros ya habían estado cerrados durante la pandemia, se optó por no realizar el cierre energético de la Universidad de Zaragoza.¹⁰⁹

Desde entonces hay un aumento generalizado del consumo energético del edificio, esto tiene una sencilla explicación también relacionada con el Covid-19: como aumenta la necesidad de ventilación en espacios cerrados, si queremos mantener los mismos estándares de confort térmico en su interior, necesitamos compensarlo aumentando la demanda de climatización.

Para comprobar si es real la relación entre consumo y horas de climatización se realiza la tabla 8, donde se presentan las horas de climatización de los meses que se tiene registro y el consumo de estos mismos meses, haciendo una comparativa a nivel porcentual de ambos.

108 «Plan de racionalización de la gestión económica | Universidad de Zaragoza».

109 Zaragoza, «RESOLUCIÓN de 5 de mayo de 2020, del Rector en funciones de la Universidad de Zaragoza, por la que se modifica la Resolución de 18 de diciembre de 2019, del Rector de la Universidad de Zaragoza, por la que se establece, a efectos de cómputo de plazos, el calendario de días inhábiles en el ámbito de la Universidad de Zaragoza para el año 2020.»

Relación horas de climatización y consumo								
	2019		2020		2021		% respecto 2019	
	horas climat.	consumo KWh	horas climat.	consumo KWh	horas climat.	consumo KW/h	horas climat.	consumo KWh
Enero	280	103.387			209	97.150	-25,36	-6,03
Febrero	175	79.064			211	72.850	20,57	-7,86
Marzo	100,5	58.703			192	67.284	91,04	14,62
Abril	76	46.197						
Mayo	12	32.588						
Junio	139,5	60.681						
Julio	134,25	59.007	117,75	46.422			-12,29	-21,33
Agosto	7	23.162	684,45	41.346			9677,86	78,51
Septiembre	49	39.031	94,5	38.211			92,86	-2,10
Octubre	0	32.338	65	37.879				17,13
Noviembre	197,5	77.174	250	81.327			26,58	5,38
Diciembre	109,5	61.702	197,5	71.103			80,37	15,24

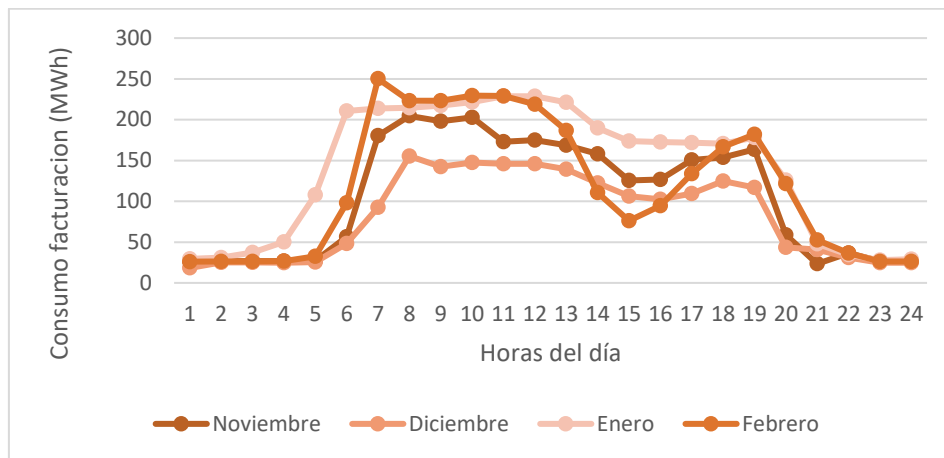
Tabla 8: Comparación número de horas de climatización y consumo según datos de la Oficia Verde.

Fuente: Elaboración propia

A la hora de leer los resultados, hay que tener en cuenta que, según los datos aportados anteriormente, la climatización del edificio supone un valor en torno al 50% del consumo total del edificio, por tanto, no se puede hablar de una variación en el porcentaje de las mismas dimensiones en ambos campos, aunque sí que se debería mostrar una relación directa, es decir, si aumenta el número de horas, aumenta el consumo.

Para poder entender con mayor claridad el modo de funcionamiento del equipo de climatización del edificio a lo largo del año, se puede recurrir a los perfiles horarios, que nos muestran la evolución del consumo medio de cada hora del día en el mes indicado. En este caso los datos corresponden al año 2019 y se muestran agrupados en distintos gráficos según su patrón de consumo.

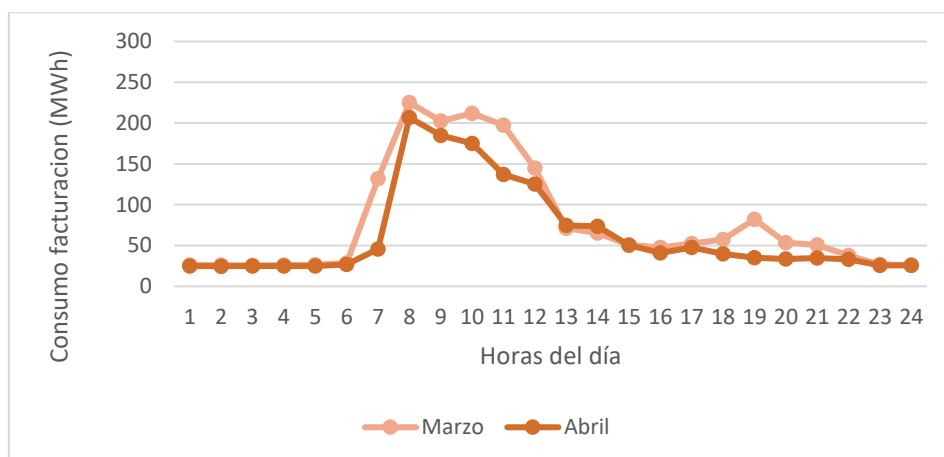
1. Noviembre, diciembre, enero y febrero.



Gráfica 12: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses noviembre, diciembre, enero y febrero, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar como en el tramo nocturno (de 21:00 a 5:00) el consumo no es cero, si no que permanece más o menos constante a unos 20 KWh, debido a la ya mencionada iluminación exterior. En el tramo comprendido entre las 5:00 y 6:00 se produce un pico en el consumo (a esa hora se encienden las máquinas de climatización, y se mantienen más o menos estables hasta las 19:00 que se apagan. Desde entonces y hasta las 21:00 el consumo se va reduciendo progresivamente correspondiendo con el fin de la jornada.

1- Marzo y abril

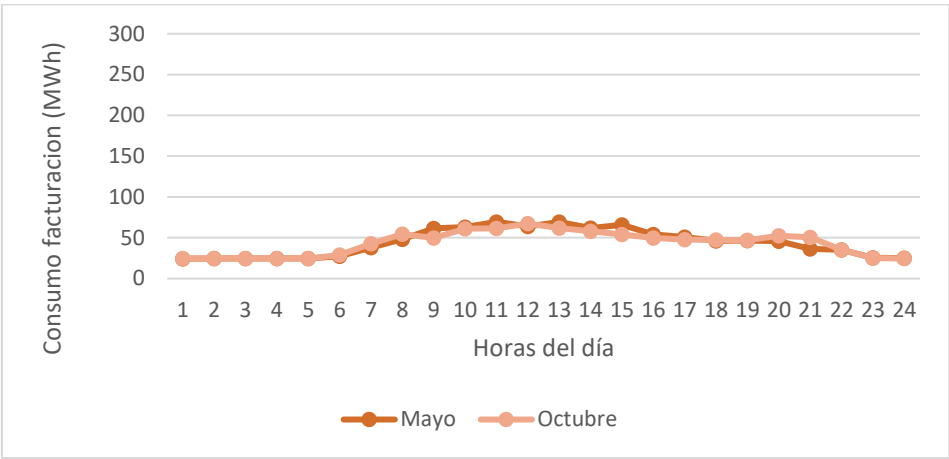


Gráfica 13: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses marzo y abril, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

En estos meses se ve como las horas de climatización van disminuyendo debido a que las temperaturas exteriores van poco a poco aproximándose a la temperatura de consigna. Se ve como el tramo nocturno (desde las 22:00 hasta las 6:00) sigue manteniendo ese consumo de unos 20 KWh hasta que se produce el encendido de las máquinas. Sin embargo, estas cada vez van trabajando menos horas, llegando a apagándose a las 14:00 y, en el caso de marzo,

realizando un reencendido a las 19:00 (para cubrir las necesidades de confort debidas a la bajada de temperaturas de últimas horas de la tarde).

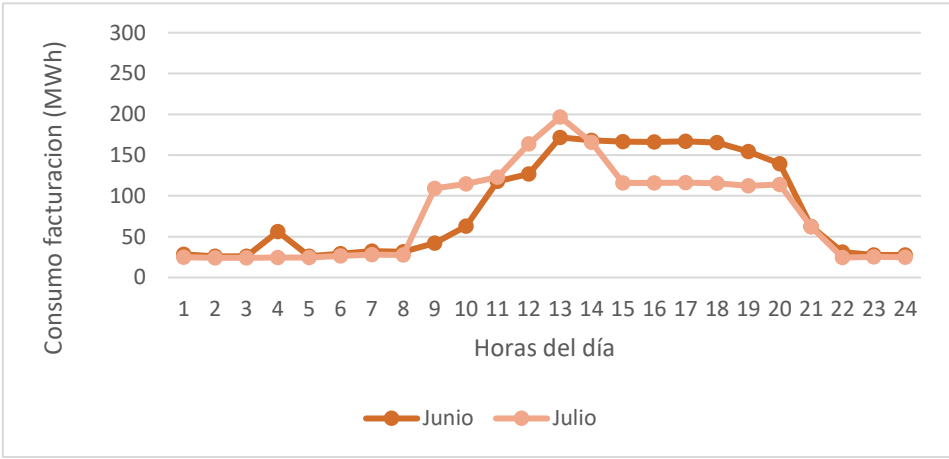
2- Mayo y octubre



Gráfica 14: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses mayo y octubre según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

En estos meses se muestra una tendencia más lineal de consumo, esto se debe a que la temperatura exterior son tales que permiten condiciones de confort en el interior sin necesidad de apoyo mecánico.

3- Junio y julio

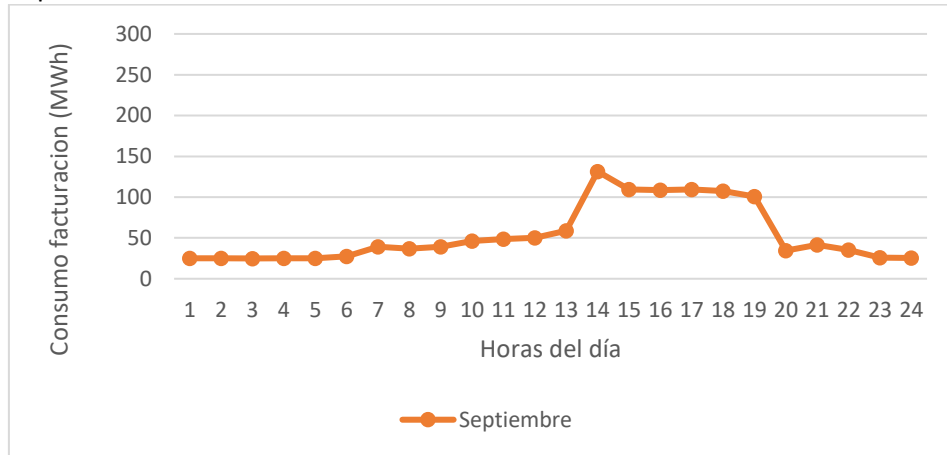


Gráfica 15: Perfil horario de consumo eléctrico promedio de los meses junio y julio, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

Con estos meses nos encontramos en periodo de verano, lo que quiere decir que las horas en las que necesitaremos refrigerar el edificio son sobre todo el mediodía y el principio de la tarde. Esto se ve reflejado en el gráfico de consumo: el periodo nocturno empieza a las 22:00 y se alarga hasta las 8:00, hora a la que se inicia la jornada laboral, cuando el consumo va

aumentando progresivamente hasta alcanzar su punto máximo a la 13:00 y permanece más o menos estable hasta las 20:00 que se apagan las máquinas.

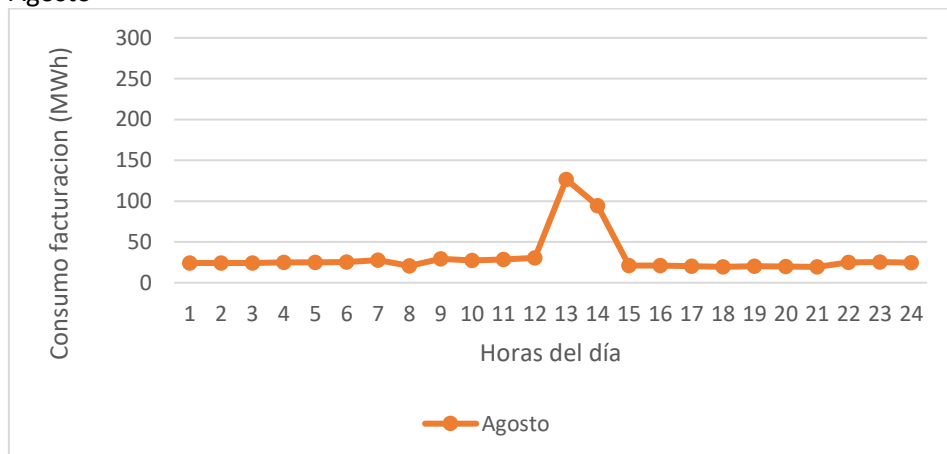
1- Septiembre



Gráfica 16: Perfil horario de consumo eléctrico promedio del mes de septiembre, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

En septiembre se puede ver un comportamiento similar a los meses de junio y de julio, pero con un consumo menor, ya que las temperaturas son más amables. El servicio de climatización permanece en funcionamiento de 14:00 a 20:00.

2- Agosto



Gráfica 17: Perfil horario de consumo eléctrico promedio del mes de agosto, según datos de la Oficina Verde. Fuente: Elaboración propia

Para entender el mes de agosto hay que tener en cuenta que el edificio permanece cerrado desde las 14:00 y que no han comenzado todavía las clases (los usos del edificio pasan a ser la labor departamental, de administración y biblioteca). Visto así tiene sentido que el consumo sea más o menos homogéneo a lo largo de todo el día a excepción del pico producido de 13:00 a 14:00 que se enciende el sistema de climatización.

8. Normativa de aplicación relativa a la eficiencia energética: NBE-CT-79

Según el Real Decreto 2429/79, de 6 de julio:

“Mediante Decreto 1.490/75, de 12 de junio, la Administración Pública adoptó las primeras medidas encaminadas a la consecución de un ahorro energético a través de una adecuada construcción de los edificios, haciendo frente así a los problemas derivados del encarecimiento de la energía.”¹¹⁰

En consideración a la importancia y trascendencia de las medidas a adoptar en este sentido, fue formada una Comisión de Expertos, con representación de organismos oficiales y entidades privadas interesadas en el sector energético de la edificación, que ha desarrollado y completado la reglamentación contenida en aquel Decreto, formulando la Norma Básica de la edificación que ahora se aprueba (Real Decreto 2429/79, de 6 de julio).¹¹¹

Se incluyen en dicha Norma, además de prescripciones encaminadas al ahorro de energía, otros aspectos térmicos o higrotérmicos que afectan a la edificación y a sus condiciones de habitabilidad, incidiendo en aspectos hasta ahora no regulados, tales como los fenómenos de condensación de cerramientos exteriores que afectan al bienestar de los usuarios de los edificios.”¹¹²

El proyecto de ejecución de este edificio fue presentado en 1998 (aunque no empezó a construirse hasta 2001). Por lo tanto, en cuanto a comportamiento térmico, el edificio se rige por las exigencias dictadas por la **Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79)**.

En está, según la ubicación del edificio, se clasifica en zona **climática CX**, lo que significa que se encuentra entre 801 y 1.300 grados/días anuales y donde los valores de temperaturas mínimas medias del mes de enero serían de 3°C.

Se limitan, entre otros, los siguientes aspectos:

- A. La transmisión global de calor a través del conjunto del cerramiento, definida por su coeficiente Kg (artículo 4º).
“Las exigencias de aislamiento térmico individuales de los elementos estructurales de cierre del edificio no tienen en cuenta el consumo de energía necesaria para la consecución de los niveles de conformidad térmica. Para cubrir este aspecto se define el coeficiente global de transmisión de calor del edificio, Kg, cuyos valores máximos se

¹¹⁰ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

¹¹¹ Presidencia del Gobierno.

¹¹² Presidencia del Gobierno.

obtiene en función del factor de forma del edificio, de la zona climática y del tipo de energía empleada en la calefacción”.¹¹³

El coeficiente $K_{g_{max}}$ se calcula: $K_g = a(3 + 1/f) = 0.17(3 + 1/0.285) = 1.106 \text{ W/m}^2\text{k}$

Donde f es el factor de forma del edificio (que de acuerdo con las memorias de ejecución sería 0.285 m^{-1})¹¹⁴ y a se extrae de la siguiente tabla:

Tipo de energía para calefacción	Zona climática según mapa 1 (art 13º)				
	A	B	C	D	E
Caso I: Combustible sólido, líquido o gaseoso	0,35	0,27	0,23	0,21	0,2
Caso II: Edificios sin calefacción o Calefactados con energía eléctrica directa por efecto Joule	0,35	0,23	0,17	0,15	0,13
Coeficiente $a \text{ W/m}^3\text{K}$					

Tabla 9: Tabla 1bis del artículo 4 de la NBE-CT-79. Fuente: elaboración propia

Según las memorias del proyecto de instalación de climatización calefacción y ventilación del edificio tendría un valor $K_g = 1,083 \text{ W/m}^2\text{K}$.¹¹⁵

- B. La transmisión de calor a través de cada uno de los elementos que forman el cerramiento, definida por sus coeficientes K (Artículo 5º).

Cerramiento	K_{max} según NBE-CT-79 para Zona X ($\text{W/m}^2\text{K}$)
Fachada ligera ($<200 \text{ kg/m}^2$)	1.2
Fachada pesada ($>200 \text{ kg/m}^2$)	1,6
Forjado sobre espacio abierto	0.9
Cubierta	1,2
Forjados en contacto con locales no calefactados	1,4
Paredes en contacto con locales no calefactados	1.8

Tabla 10: Coeficiente de transmisión de los cerramientos, K_{max} , permitida por NBE-CT.79. Fuente: Elaboración Propia

¹¹³ Presidencia del Gobierno.

¹¹⁴ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

¹¹⁵ Franco, Tobías, y Pemán.

C. La permeabilidad al aire de las carpinterías de los huecos exteriores (artículo 20º).

La permeabilidad al aire de una carpintería es la propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. Esta capacidad de paso o caudal puede referirse a la superficie de apertura (capacidad de paso por unidad de superficie m^3/hm^2), a la longitud de los batientes (capacidad de paso por unidad de longitud m^3/hm) o a la superficie total de la ventana (capacidad de paso por unidad de superficie m^3/hm^2).¹¹⁶

No se tendrá en cuenta las juntas entre carpintería y fábrica para el ensayo de la permeabilidad de la carpintería.¹¹⁷

La permeabilidad al aire de una carpintería de hueco se define por su clase de estanqueidad o permeabilidad al aire. Para una zana climática C será mínimo de Clase A-2.¹¹⁸

La permeabilidad al aire de una carpintería de hueco se define por su clase de estanqueidad o permeabilidad al aire. Para una zana climática C las carpinterías deberán ser Clase A-2 permeabilidad de 20 m^3/hm^2 por cada 100 Pa de presión diferencial de aire.¹¹⁹

De acuerdo con la memoria del proyecto de instalación de climatización calefacción y ventilación del edificio, las carpinterías exteriores se clasifican como CLASE 3 REFORZADA lo que quiere decir que como máximo su permeabilidad sería de 7 m^3/hm^2 por cada 100 Pa de presión diferencial de aire.¹²⁰

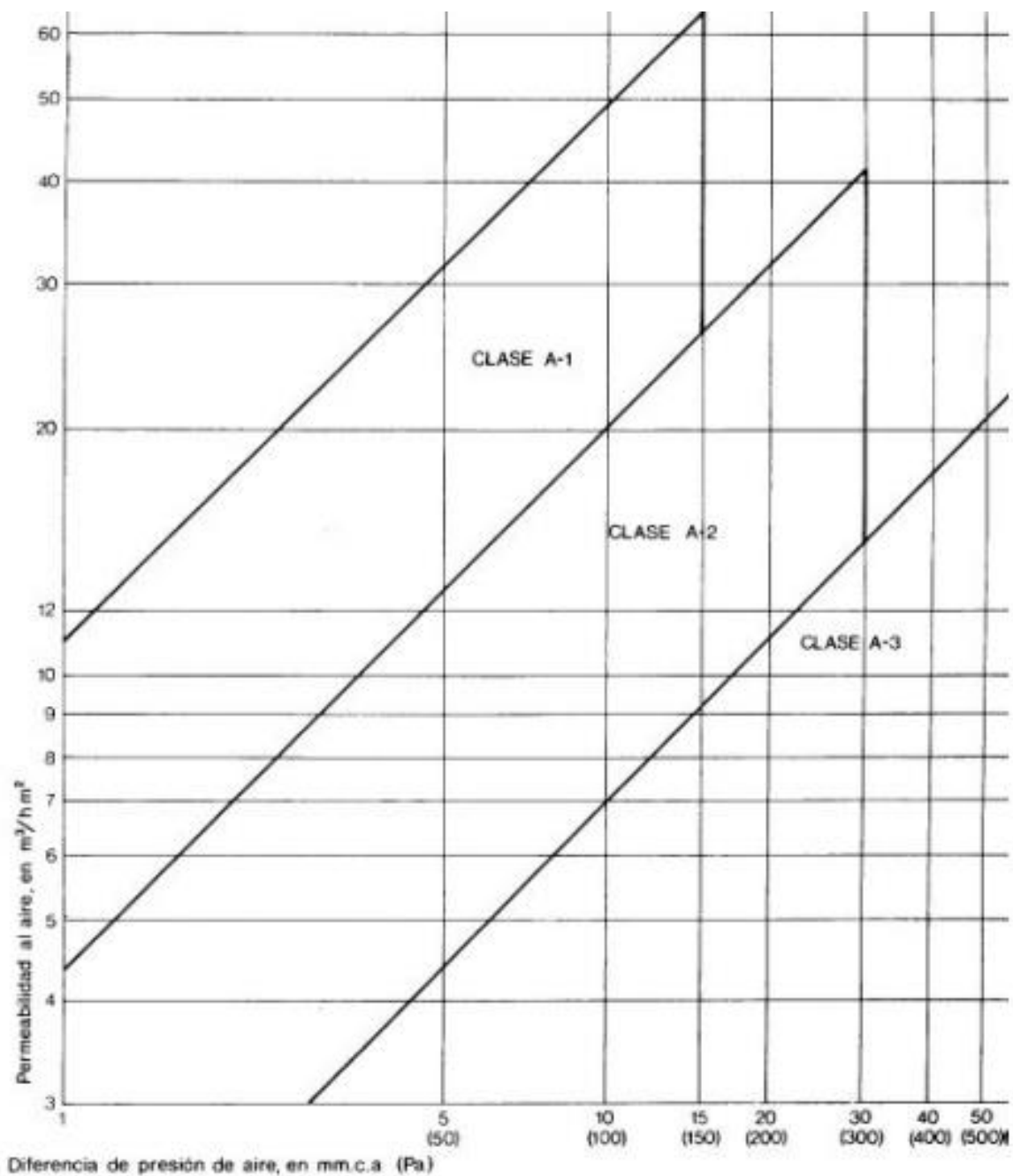
¹¹⁶ Franco, Tobías, y Pemán.

¹¹⁷ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

¹¹⁸ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

¹¹⁹ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

¹²⁰ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».



Gráfica 18: Gráfico logarítmico para clasificación de carpinterías según su permeabilidad al aire
Fuente: NBE-CT-79

9. Comprobación del cumplimiento de la NBE-CT-79

Para asegurarnos de que dicho edificio cumplía la normativa NBE-CT-79¹²¹ y comprobar los valores aportados por los arquitectos en las memorias¹²². En el Anexo 1 aparecen los cálculos de los elementos de la envolvente térmica según la normativa NBE-CT-79.

Cerramiento	$K_{\max}$ según NBE-CT-79 para Zona X (W/m ² K)	K según memoria de ejecución (W/m ² K)	K calculada según NBE-CT-79 (W/m ² K)
Fachada ALUCOBOND	1,6	0,326	0.382
Fachada GRC sobre muro de fábrica	1,6	0,269	0.249
Fachada GRC sobre pantalla de hormigón	1,6	0,292	0.292
Fachada Lucernario	1.6		0.36
Cubierta Lucernario	1,2	0,301	0.36
Cubierta	1,2	0,257	0.242
Forjado Sanitario		1,699	1.7
Forjados en contacto con locales no calefactados	1,4	1,235	1.08
Ventanas		3,1 (7m ³ /hm ² para 100 Pa)	

Tabla 11: Comparación transmitancias térmicas exigidas por el NBE-CT-79, memorias de proyecto y calculadas en anexo 1. Fuente: elaboración propia

Gracias a la tabla 11 se puede apreciar como los elementos que conforman la envolvente térmica del edificio no solo cumplen la normativa vigente en el momento de construcción, sino que tiene unos valores muchos mejores a los exigidos.

¹²¹ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

¹²² Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

9. Normativa actual para la rehabilitación energética de edificios no residenciales (CTE 2019_DB HE)

Como ya se ha comentado, la principal normativa de aplicación es el Documento Básico de Ahorro de Energía de Código Técnico en su última versión publicada el 20 de diciembre de 2019.

HE 0. Limitación del consumo energético

El HE0 limita el consumo energético de los edificios en función de la zona climática de invierno, de su localidad de ubicación, del uso del edificio y, en el caso de edificios existentes, del alcance de la intervención.¹²³

Para reformas energéticas, donde no se realiza ningún tipo de ampliación o cambio de uso, el He 0 se aplica si se renueva de forma conjunta las instalaciones de generación térmica y más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio.¹²⁴

El **consumo de energía primaria no renovable** ($C_{ep,nren}$) de los espacios contenidos en el interior de la envolvente térmica del edificio no debe superar el valor límite ($C_{ep,nren,lim}$).

Tabla 3.1.b - HE0
Valor límite $C_{ep,nren,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso distinto del residencial privado

Zona climática de invierno					
α	A	B	C	D	E
$70 + 8 \cdot C_{FI}$	$55 + 8 \cdot C_{FI}$	$50 + 8 \cdot C_{FI}$	$35 + 8 \cdot C_{FI}$	$20 + 8 \cdot C_{FI}$	$10 + 8 \cdot C_{FI}$

C_{FI} : Carga interna media [W/m²]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40

Ilustración 42: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.b - HE0

En cuanto al **consumo de energía primaria total** ($C_{ep,tot}$) para edificios no residenciales viene definido en la tabla 3.2.b.

Tabla 3.2.b - HE0
Valor límite $C_{ep,tot,lim}$ [kW·h/m²·año] para uso distinto del residencial privado

Zona climática de invierno					
α	A	B	C	D	E
$165 + 9 \cdot C_{FI}$	$155 + 9 \cdot C_{FI}$	$150 + 9 \cdot C_{FI}$	$140 + 9 \cdot C_{FI}$	$130 + 9 \cdot C_{FI}$	$120 + 9 \cdot C_{FI}$

C_{FI} : Carga interna media [W/m²]

En territorio extrapeninsular (Illes Balears, Canarias, Ceuta y Melilla) se multiplicarán los valores resultantes por 1,40

Ilustración 43: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.2.b - HE0

¹²³ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación DB HE 2019».

¹²⁴ Ministerio de Fomento, «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía».

En el documento, se define carga interna como el conjunto de solicitaciones generadas en el interior del edificio, debidas, fundamentalmente, a los aportes de energía de las fuentes internas (ocupantes, equipos eléctricos, iluminación, etc.). Se expresa en W/m^2 .¹²⁵

En cuanto a la carga interna media (C_{Fi}) dice que es la carga media horaria de una semana tipo, repercutida por unidad de superficie del edificio o zona del edificio, teniendo en cuenta la carga sensible debida a la ocupación, la carga debida a iluminación y la carga debida a los equipos.¹²⁶

$$CFI = \Sigma C_{oc} / (7 \cdot 24) + \Sigma C_{il} / (7 \cdot 24) + \Sigma C_{eq} / (7 \cdot 24)$$

ΣC_{oc} = suma de las cargas sensibles nominales por ocupación [W/m^2], por hora y a lo largo de una semana tipo.

ΣC_{il} = suma de las cargas nominales por iluminación [W/m^2], por hora y a lo largo de una semana tipo.

ΣC_{eq} = suma de las cargas nominales de equipos [W/m^2], por hora y a lo largo de una semana tipo.

He 1. Condiciones para el control de la demanda energética

Transmitancia global de la envolvente (k)

Integra las características de los elementos que configuran la envolvente térmica, su proporción, así como el cuidado de los puentes térmicos con el objetivo de asegurar la eficiencia de la envolvente térmica en relación con la transmisión de calor, teniendo en cuenta el volumen habitable protegido y su superficie de intercambio térmico con el exterior.¹²⁷

El coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente térmica (K) del edificio, o parte de este, con uso distinto al residencial privado no superará el valor límite (K_{lim}).¹²⁸

Tabla 3.1.1.c - HE1 Valor límite K_{lim} [W/m^2K] para uso distinto del residencial privado

	Compacidad V/A [m^3/m^2]	Zona climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos. Ampliaciones. Cambios de uso. Reformas en las que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio	V/A ≤ 1	0,96	0,81	0,76	0,65	0,54	0,43
	V/A ≥ 4	1,12	0,98	0,92	0,82	0,70	0,59

Los valores límite de las compacidades intermedias ($1 < V/A < 4$) se obtienen por interpolación.

En el caso de ampliaciones los valores límite se aplicarán sólo en caso de que la superficie o el volumen construido se incrementen más del 10%.

Las *unidades de uso* con actividad comercial cuya compacidad V/A sea mayor que 5 se eximen del cumplimiento de los valores de esta tabla.

Ilustración 44: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.1.a - HE1

¹²⁵ Ministerio de Fomento.

¹²⁶ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación DB HE 2019».

¹²⁷ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana.

¹²⁸ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana.

La definición del Coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente es el valor medio del coeficiente de transmisión de calor para la superficie de intercambio térmico de la envolvente (A_{int}).

$$K = \sum x H_x / A_{int}$$

H_x corresponde al coeficiente de transferencia de calor del elemento x perteneciente a la envolvente térmica (incluyendo sus puentes térmicos). Se incluyen aquellos elementos en contacto con el terreno, con el ambiente exterior, y se excluyen aquellos en contacto con otros edificios u otros espacios adyacentes.

A_{int} es el área de intercambio de la envolvente térmica obtenida como suma de los distintos componentes considerados en la transmisión de calor. Excluye, por tanto, las áreas de elementos de la envolvente térmica en contacto con edificios o espacios adyacentes exteriores a la envolvente térmica.

De forma simplificada, puede calcularse a partir de las transmitancias térmicas y las superficies de los elementos de la envolvente térmica y de un factor de ajuste:

$$K = \sum x b_{tr,x} [\sum i A_{x,i} U_{x,i} + \sum k l_{x,k} \psi_{x,k} + \sum j x_{x,j}] / \sum x \sum i b_{tr,x} A_{x,i}$$

$b_{tr,x}$ es el factor de ajuste para los elementos de la envolvente. Su valor es 1 excepto para elementos en contacto con edificios o espacios adyacentes exteriores a la envolvente térmica, donde toma el valor 0.

$A_{x,i}$ es el área de intercambio del elemento de la envolvente térmica considerado.

$U_{x,i}$ es el valor de la transmitancia térmica del elemento de la envolvente térmica considerado.

$l_{x,k}$ es la longitud del puente térmico considerado.

$\psi_{x,k}$ es el valor de la transmitancia térmica lineal del puente térmico considerado.

$x_{x,j}$ es la transmitancia puntual del puente térmico considerado.

Transmitancia térmica de la envolvente (U_{lim})

La transmitancia global de la envolvente térmica (K) responde por tanto a la globalidad del edificio, pero se construye a partir de la individualidad de cada elemento que a su vez debe cumplir con unas transmitancias térmicas límite (U_{lim}).¹²⁹

En el caso de reformas, se aplica exclusivamente a aquellos elementos de la envolvente térmica que se sustituyan, incorporen o modifiquen sustancialmente, o bien que se vean modificadas sus condiciones interiores o exteriores como resultado de la intervención, cuando estas supongan un incremento de las necesidades energéticas del edificio.¹³⁰

¹²⁹ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana.

¹³⁰ Ministerio de Fomento, «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía».

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m²K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M)	0,80	0,70	0,56	0,49	0,41	0,37
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	0,55	0,50	0,44	0,40	0,35	0,33
Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables o con el terreno (U_T) Medianerías o particiones interiores pertenecientes a la envolvente térmica (U_{MD})	0,90	0,80	0,75	0,70	0,65	0,59
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana) (U_H)*	3,2	2,7	2,3	2,1	1,8	1,80
Puertas con superficie semitransparente igual o inferior al 50%				5,7		

*Los huecos con uso de escaparate en unidades de uso con actividad comercial pueden incrementar el valor de U_H en un 50%.

Ilustración 45: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.1.a - HE1

Estas transmitancias límite aseguran una calidad mínima de la envolvente y evitan descompensaciones en la calidad térmica de los espacios del edificio. Sin embargo, el cumplimiento individual de los elementos no garantiza el cumplimiento global del edificio, limitado por la transmitancia global de la envolvente térmica (K).¹³¹

Asimismo, en reformas se podrán superar los valores de la (U_{lim}) cuando el coeficiente global de transmisión de calor (K) obtenido considerando la transmitancia térmica final de los elementos afectados no supere el obtenido aplicando los valores de la tabla.¹³²

La metodología de cálculo se presenta en el Documento de Apoyo al Documento Básico DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Sin embargo, en el Anejo E del Documento Básico HE, Ahorro de energía, aparece una tabla similar que nos aconseja utilizar otros valores diferentes como objetivo para así poder alcanzar las condiciones establecidas para el coeficiente global de transmisión de calor a través de la envolvente:

Tabla a-Anejo E. Transmitancia térmica del elemento, U [W/m² K]

	Zona Climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U_M , U_s	0,56	0,50	0,38	0,29	0,27	0,23
Cubiertas en contacto con el aire exterior, U_c	0,50	0,44	0,33	0,23	0,22	0,19
Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno, U_T	0,80	0,80	0,69	0,48	0,48	0,48
Huecos (conjunto de marco, vidrio y, en su caso, cajón de persiana), U_H	2,7	2,7	2,0	2,0	1,6	1,5

Ilustración 46: Recorte del DB HE 2019. Tabla a-Anejo E

¹³¹ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación DB HE 2019».

¹³² Ministerio de Fomento, «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía».

Control solar ($q_{sol;jul}$)

Este parámetro mide la radiación solar total que penetra en el edificio durante el mes de julio con las protecciones solares móviles activas de las que disponga el edificio,¹³³ es decir, el control solar es la relación entre las ganancias solares para el mes de julio ($Q_{sol;jul}$) de los huecos pertenecientes a la envolvente térmica con sus protecciones solares móviles activadas, y la superficie útil de los espacios incluidos dentro de la envolvente térmica (A_{util}). Puede aplicarse al edificio o a parte de este.¹³⁴

$$q_{sol;jul} = Q_{sol;jul} / A_{util} = (\sum_k F_{sh;obst} \cdot g_{gl;sh;wi} \cdot (1 - F_F) \cdot A_{w;p} \cdot H_{sol;jul}) / A_{util}$$

$F_{sh;obst}$ es el factor reductor por sombreado por obstáculos externos (comprende todos los elementos exteriores al hueco como voladizos, aletas laterales, retranqueos, obstáculos remotos, etc.), para el mes de julio, del hueco k, y representa la reducción en irradiación solar incidente debida al sombreado permanente de dichos obstáculos.

$g_{gl;sh;wi}$ es la transmitancia total de energía solar del acristalamiento con el dispositivo de sombra móvil activado, para el mes de julio y del hueco k.

F_F es la fracción de marco del hueco k (de forma simplificada puede adoptarse el valor de 0,25).

$A_{w;p}$ es la superficie (m^2) del hueco k.

$H_{sol;jul}$ es la irradiación solar media acumulada del mes de julio ($kWh/m^2 \cdot mes$) para el clima considerado y la inclinación y orientación del hueco k.

En caso de que se renueve más del 25% de la superficie total de la envolvente térmica final del edificio, el parámetro de **control solar** ($q_{sol;jul}$) no superar el valor ($q_{sol;jul,lim}$).

Tabla 3.1.2-HE1 Valor límite del parámetro de control solar, $q_{sol;jul,lim}$ [$kWh/m^2 \cdot mes$]

Uso	$q_{sol;jul}$
Residencial privado	2,00
Otros usos	4,00

Ilustración 47: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.2 - HE1

Permeabilidad de la envolvente térmica

La permeabilidad es el volumen de aire que se filtra a través de los cerramientos cuando hay una determinada diferencia de presión entre el exterior y el interior. Las soluciones constructivas y condiciones de ejecución de los elementos de la envolvente térmica asegurarán una adecuada estanqueidad al aire. Particularmente, se cuidarán los encuentros entre huecos y opacos, puntos de paso a través de la envolvente térmica y puertas de paso a espacios no acondicionados.¹³⁵

¹³³ Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana, «Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación DB HE 2019».

¹³⁴ Ministerio de Fomento, «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía».

¹³⁵ Ministerio de Fomento.

En cuanto a la **permeabilidad al aire de los huecos** (Q_{100}) que pertenezcan a la envolvente térmica no superará el valor límite $Q_{100,lim}$.

Tabla 3.1.3.a-HE1 Valor límite de permeabilidad al aire de huecos de la envolvente térmica, $Q_{100,lim}$ [$m^3/h \cdot m^2$]

	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Permeabilidad al aire de huecos ($Q_{100,lim}$)*	≤ 27	≤ 27	≤ 27	≤ 9	≤ 9	≤ 9

* La permeabilidad indicada es la medida con una sobrepresión de 100Pa, Q_{100} .

Los valores de permeabilidad establecidos se corresponden con los que definen la clase 2 ($\leq 27 m^3/h \cdot m^2$) y clase 3 ($\leq 9 m^3/h \cdot m^2$) de la UNE-EN 12207:2017.

La permeabilidad del hueco se obtendrá teniendo en cuenta, en su caso, el cajón de persiana.

Ilustración 48: Recorte del DB HE 2019. Tabla 3.1.3.a - HE1

10. Modos y aproximación de pérdida de calor en la edificación.

En la edificación se producen diversos modos de pérdida de calor. Estos pueden asociarse a dos grandes grupos: pérdidas por la envolvente térmica o pérdidas por ventilación.

Para presentar unos porcentajes aproximados de pérdida de calor para cada uno de estos grupos hay que tener en cuenta la relación entre el volumen interior y envolvente, así como la transmitancia de los diferentes componentes de la envolvente. Si consideramos un volumen interior, contra más cerramientos están expuestos al exterior, se producirán mayores pérdidas a través de la envolvente, por lo que el porcentaje de pérdida por ventilación sobre el total sería cada vez menor. Por otro lado, si este mismo volumen contase con pocos elementos en contacto con el aire exterior, donde las pérdidas por la envolvente serían muy bajas, el porcentaje de las pérdidas producidas por la ventilación aumentaría con respecto al total. Lo mismo ocurriría con la transmitancia de los elementos de la envolvente, cuanto mejores sean los cerramientos menores pérdidas de calor por la envolvente se producirán y mayor será el aporte de la ventilación al total.

Por lo tanto, hablar de unos porcentajes generales que se cumplan en todos los edificios no es posible, aunque sí que podemos hablar de unos valores orientativos.

Los porcentajes de pérdida de ventilación oscilan entre un 20-50%.^{136 137 138} Debido al gran tamaño de nuestro edificio, a que las transmitancias de la envolvente son bastante buenas y a que las carpinterías muestran un buen comportamiento de estanqueidad, podemos suponer que el porcentaje en nuestro edificio está más próximo al 50% que al 20%, por lo que voy a tomar un 40% de pérdida por ventilación para realizar el análisis a partir de ahora.

Dentro del grupo de las pérdidas por envolvente térmica encontramos que el 23% de las pérdidas van destinadas a puentes térmicos¹³⁹ y dentro del 37% restante aparecen: muros (40%), suelos (6%), ventanas (24%), infiltraciones de aire (19%) cubierta (11%).¹⁴⁰

Si tomamos como referencia los datos de 2019 (al ser el último año con datos completos, sin cierre de instalaciones por Covid.19) obtenemos que tenemos un consumo de 673.034 kWh y un importe sin impuestos eléctricos total de 54.660 €. Gracias a la gráfica 8 sabemos que el consumo de climatización gira entorno al 50% del consumo total es de unos 336.517 kWh y aproximadamente 27330€ luego podemos saber aproximadamente el consumo producido por la pérdida de calor de cada elemento:

136 M. W. Liddament y M. Orme, «Energy and ventilation».

137 C. A. Roulet et al., «Real heat recovery with air handling units.»

138 «PÉRDIDAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN».

139 Illomets et al., «Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings».

140 C.A. Balaras et al., «Potencial for energy conservation in apartment buildings».

Cerramiento	Porcentaje de pérdida %	Consumo (kWh)	Importe sin impuesto (€)
Ventilación	40	134.606	10.932
Puentes térmicos	23	77.398	6.286
Muros	14.8	49.805	4.045
Suelos	2.22	7.471	607
Ventanas	8.88	29.882	2427
Infiltraciones de aire	7,03	23.657	1921
Cubierta	4,07	13.696	1.112

Tabla 12: Consumo energético y gasto económico producido por la pérdida de calor. Fuente: Elaboración propia

11. Transmitancia de los elementos de la envolvente térmica

Lo primero que se necesita para saber que elementos se deben calcular es definir la envolvente térmica del edificio:

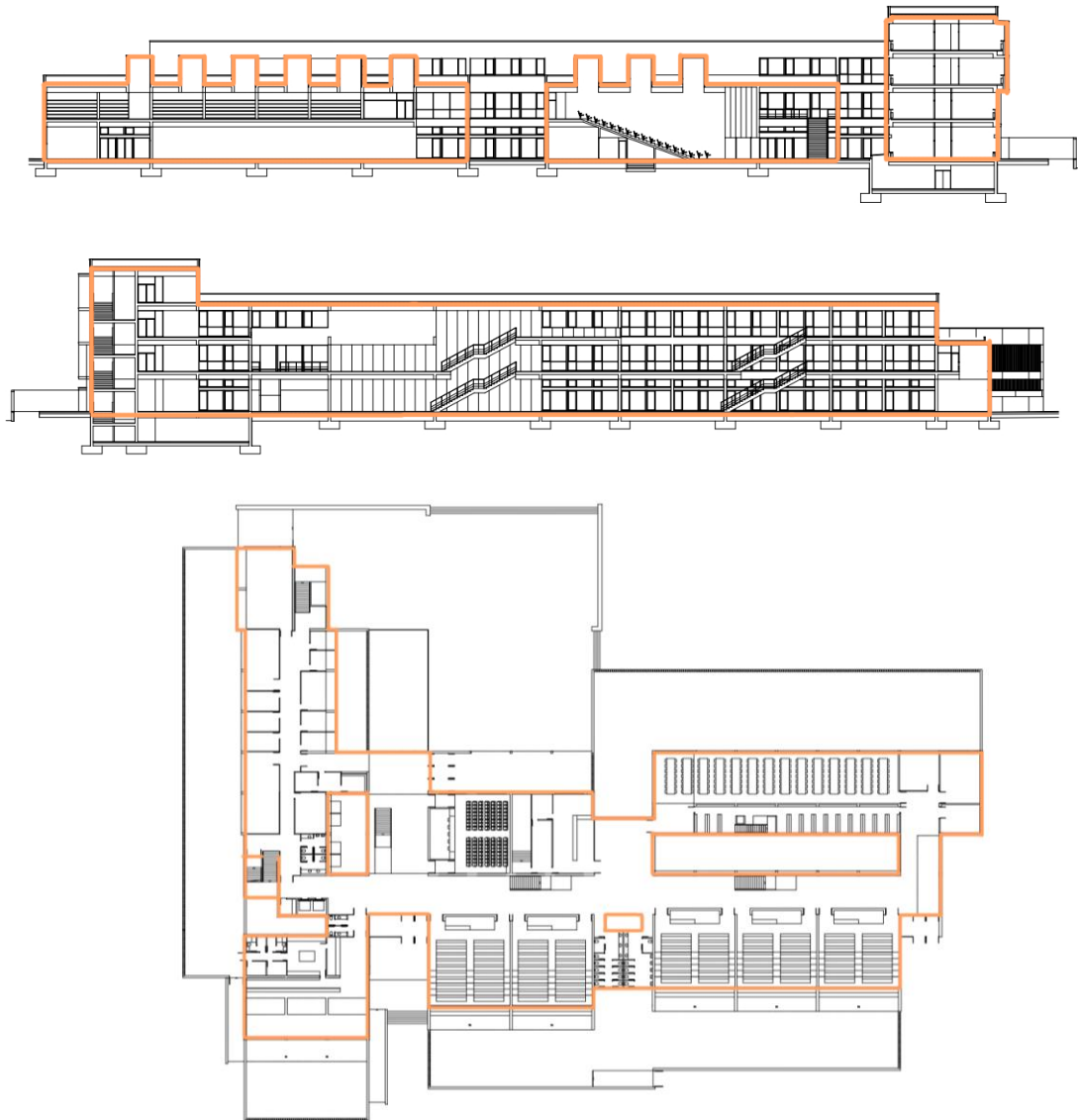


Ilustración 49: Esquema indicativo de la envolvente térmica en planta y sección. Fuente: Elaboración propia

Para saber cómo calcular la transmitancia de los elementos que conforman la envolvente térmica de nuestro edificio debemos recurrir al Documento de Apoyo: Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.

Para calcular la transmitancia térmica U (W/m^2K) de la parte opaca de todos los cerramientos en contacto con el aire exterior (muros, cubiertas, forjados) lo que hacemos es recurrir a la siguiente expresión:¹⁴¹

$$U = \frac{1}{R_t}$$

R_T = la resistencia térmica total del componente constructivo [m^2K/W].

$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}$

$R_1, R_2, \dots, R_n$ son las transmitancias de cada capa en m^2K/W , que se calculan a través de la expresión $R = \frac{e}{\lambda}$

e es el espesor de la capa en m

λ es la conductividad térmica de diseño del material que compone la capa

R_s, R_{se} son las resistencias térmicas superficiales correspondientes al aire interior y exterior respectivamente tomadas de la tabla 1 del DA DB HE/1

Tabla 1 Resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior [$m^2 \cdot K/W$]

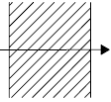
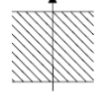
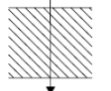
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (suelo)		0,04	0,17

Ilustración 50: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 1

Las cámaras de aire se pueden caracterizar por su resistencia térmica dependiendo de si se trata de una cámara de aire sin ventilar ($500 \text{ mm}^2 < S_{\text{aberturas}}$), ligeramente ventilada ($500 \text{ mm}^2 < S_{\text{aberturas}} \leq 1500 \text{ mm}^2$) o muy ventilada ($S_{\text{aberturas}} \leq 1500 \text{ mm}^2$)¹⁴²

En este edificio las cámaras de aire se consideran ligeramente ventiladas, por lo que se aplica la mitad de los valores de asignados por la Tabla 2 del DA DB- HE/1¹⁴³

¹⁴¹ Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.»

¹⁴² Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana.

¹⁴³ Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana.

Tabla 2 Resistencias térmicas de cámaras de aire [$\text{m}^2 \cdot \text{K} / \text{W}$]

e (cm)	Sin ventilar	
	horizontal	vertical
1	0,15	0,15
2	0,16	0,17
5	0,16	0,18

Ilustración 51: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 2

Cálculo de transmitancias térmicas:

Los coeficientes de conductividad térmica (λ) se extraen en su mayoría de la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79)¹⁴⁴ ya que considero que con el paso del tiempo se ha ido desarrollando y mejorando los distintos materiales utilizados en la construcción, por lo que los valores aportados por esa normativa se adaptan mejor a la realidad constructiva.

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Rocas y suelos naturales		
Rocas compactas	2500-3000	3,50
Grava rodada o de machaqueo	1700	0,81
Pastas, morteros y hormigones		
Mortero de cemento	2000	1,40
Hormigón armado normal	2400	1,63
hormigón celular con áridos silíceos	1000	0,67
Metales		
Lamina aluminio	2700	204,00
Panel de chapa de acero galvanizado	7850	58
Materiales bituminosos		
Lamina bituminosa	1100	0,19
Asfalto	2100	0,70
Materiales aislantes		
Poliestireno expandido (tipo IV)	15	0,034
Poliestireno extruido	33	0,033
Espuma de poliuretano	35	0,023
Placas o paneles		
Trasdoso de cartón-yeso	900	0,18

Tabla 13: Densidad y conductividad térmica de los materiales según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

¹⁴⁴ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

Aquellos materiales que no he encontrado en este documento, los he ido a buscar al Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación.¹⁴⁵

	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Espesor (mm)
Catálogo de elementos constructivos del C.T.E.			
Forjado de losa alveolar (30+5)	1444	0,21	350
Bloque cerámico de arcilla aligerada	1090	0,57	240
	1080	0.44	190

Tabla 14:Densidad, resistencia térmica y espesor de los materiales según CAT-EC. Fuente: Elaboración propia

Y los materiales más específicos, que no aparecen en ninguno de estos dos documentos, los he buscado en artículos de revistas (RE. Revista edificación "paneles de fachada prefabricada de G.R.C"¹⁴⁶) o casas comerciales (Manual de trasdosado de Pladur¹⁴⁷).

	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
RE. Revista edificación "paneles de fachada prefabricada de G.R.C"		
G.R.C	1700-2100	0.6

Tabla 15:Densidad y resistencia térmica del G.R.C. según RE. Revista edificación. Fuente: elaboración propia

	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Manual de trasdosado de Pladur		
Trasdosado de pladur-metal	45	0,036

Tabla 16:Densidad y conductividad térmica del Pladur-metas según casa comercial Pladur.
Fuente: Elaboración propia

¹⁴⁵ «Catálogo de Elementos Constructivos CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf».

¹⁴⁶ Del Águila, «Paneles de fachada prefabricados de G.R.C.»

¹⁴⁷ «Manual trasdosados Placo Saint-Gobain.pdf».

a. Fachadas

I. Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND

Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{se}			0,04
Lamina aluminio		0,005	
Poliestireno expandido		0,03	
Lamina aluminio		0,005	
Cámara de aire		0,117	0,08
Poliestireno extruido	0,033	0,04	1,21
Muro fábrica de bloque de termoarcilla		0,19	0,44
Poliestireno expandido	0,033	0,02	0,61
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
R _{si}			0,13
	R _{total} (m ² K/W)		2,66
	U (W/m ² K)		0,375

Ilustración 52: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de bandejas de ALUCOBOND según DA DB HE/1. Fuente: Elaboración propia

II. Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón

Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{se}			0,04
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Poliestireno expandido	0,034	0,08	2,35
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Pantalla de hormigón armado	1,63	0,2	0,12
Poliestireno expandido	0,034	0,02	0,59
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
R _{si}			0,13
	R _{total} (m ² K/W)		3,43
	U (W/m ² K)		0,292

Ilustración 53: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de G.R.C. sobre pantalla de hormigón según DA DB HE/1. Fuente: Elaboración propia

III. Fachada de G.R.C sobre paredes de termoarcilla

Fachadas de G.R.C sobre paredes de termoarcilla			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{se}			0,04
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Poliestireno expandido	0,034	0,08	2,35
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Cámara de aire		0,06	0,09
Muro fábrica de bloque de termoarcilla		0,24	0,57
Poliestireno expandido	0,034	0,02	0,59
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
R _{si}			0,13
R _{total} (m ² K/W)			3,97
U (W/m ² K)			0,252

Ilustración 54: Cálculo de la transmitancia térmica de la fachada de G.R.C. sobre pared de termoarcilla según DA DB HE/1. Fuente: Elaboración propia

b. Cubierta

Cubierta			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{se}			0,04
Canto rodado	0,81	0,05	0,06
Poliestireno extruido	0,033	0,06	1,82
Poliestireno extruido	0,033	0,06	1,82
Lamina impermeable	0,19	0,002	0,01
Imprimación asfáltica	0,90	0,001	0,00
Formación de pendiente de hormigón celular	0,67	0,05	0,07
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado H-250 AEH-500 N		0,35	0,21
R _{si}			0,10
R _{total} (m ² K/W)			4,13
U (W/m ² K)			0,242

Ilustración 55: Cálculo de la transmitancia térmica de la cubierta según DA DB HE/1. Fuente: Elaboración propia

c. Carpinterías exteriores

IV. Lucernario – muro (parte ciega)

Lucernario (parte ciega-muro)			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{se}			0,04
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
Espuma de poliuretano	0,023	0,06	2,61
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
R _{si}			0,13
R _{total} (m ² K/W)			2,78
U (W/m ² K)			0,36

Ilustración 56::Cálculo de la transmitancia térmica del lucernario (parte ciega-muro) según DA DB HE/1.

Fuente: Elaboración propia

V. Lucernario - cubierta (parte ciega)

Lucernario (parte ciega-cubierta)			
	I (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
R _{si}			0,10
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
Espuma de poliuretano	0,023	0,06	2,61
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
R _{se}			0,04
R _{total} (m ² K/W)			2,75
U (W/m ² K)			0,36

Ilustración 57::Cálculo de la transmitancia térmica del lucernario (parte ciega-cubierta) según DA DB HE/1.

Fuente: Elaboración propia

d. Ventanas

Los datos que conocemos de la ventana son que la transmitancia térmica global de la ventana es de 3.1 W/m²K y una estanqueidad al aire: Reforzada A3.¹⁴⁸ Puesto que no tengo forma de comprobarlo, considero como cierto dichos datos. Teniendo en cuenta que se construyó con la normativa NBE-CT-79, que tenga una estanqueidad al aire reforzada A3 quiere decir que como mínimo, su permeabilidad al aire de 7m³/hm² cuando la diferencia de presión del es de 100Pa.

¹⁴⁸ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

d. Forjado entre sótano y planta baja

Este elemento se considera una partición interior en contacto con un espacio no habitable. Su transmitancia se calcula a través de la siguiente expresión:

$$U = U_p * b = 1.08 * 0.77 = 0.83$$

Donde U_p es la transmitancia de la partición, calculada como hemos explicado previamente, con la diferencia de que las resistencias superficiales se obtienen a partir de la tabla 6 del DA DB-HE/1:

Tabla 6 Resistencias térmicas superficiales de particiones interiores [m²K/W]

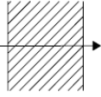
Posición de la <i>partición interior</i> y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
<i>Particiones interiores verticales o con pendiente sobre la horizontal >60° y flujo horizontal</i>		0,13	0,13
<i>Particiones interiores horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤60° y flujo ascendente (Techo)</i>		0,10	0,10
<i>Particiones interiores horizontales y flujo descendente (Suelo)</i>		0,17	0,17

Ilustración 58: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 6

Forjado sótano - Planta baja			
	l (W/mK)	e (m)	R (m²K/W)
R_{si}			0,17
Pavimento de terrazo microgramo granítico 60x60	3,5	0,03	0,01
Capa de mortero	1,4	0,04	0,03
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado H-250 AEH-500 N		0,35	0,21
Camara de aire no ventilada			0,18
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
R_{si}			0,17
R_{total} (m²K/W)			0,93
U (W/m²K)			1,08

Ilustración 59: Cálculo de la transmitancia térmica del forjado entre el sótano y la planta baja según DA DB HE/1.

Fuente: Elaboración propia

Y b es el coeficiente de reducción de temperatura obtenido a través de la tabla 7 del DA DB-HE/1:

Tabla 7 Coeficiente de reducción de temperatura b

A_{h-nh}/A_{nh-e}	No aislado _{nh-e} -Aislado _{h-nh}		No aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}		Aislado _{nh-e} -No aislado _{h-nh}	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
<0,25	0,99	1,00	0,94	0,97	0,91	0,96
0,25 ≤ 0,50	0,97	0,99	0,85	0,92	0,77	0,90
0,50 ≤ 0,75	0,96	0,98	0,77	0,87	0,67	0,84
0,75 ≤ 1,00	0,94	0,97	0,70	0,83	0,59	0,79
1,00 ≤ 1,25	0,92	0,96	0,65	0,79	0,53	0,74
1,25 ≤ 2,00	0,89	0,95	0,56	0,73	0,44	0,67
2,00 ≤ 2,50	0,86	0,93	0,48	0,66	0,36	0,59
2,50 ≤ 3,00	0,83	0,91	0,43	0,61	0,32	0,54
>3,00	0,81	0,90	0,39	0,57	0,28	0,50

Ilustración 60: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 7

Al ser el sótano un espacio ligeramente ventilado se considera CASO 1, no hay aislante en el paramento y $A_{h/nh}/A_{nh-e} = 297/453 = 0,66$. Por lo tanto $b=0,77$

e. Elementos en contacto con el terreno - Forjado sanitario

En cuanto al forjado sanitario, como la cámara de aire es menor a 1 metro y la profundidad es inferior a 0.5 se le aplica el apartado 2.1.3.2 Suelos en contacto con cámaras Sanitarias del DA DB-HE/1

Para saber cuál es la transmitancia térmica del forjado sanitario debemos entrar a la tabla 9 del Documento de Apoyo con la resistencia térmica del elemento, despreciando las resistencias superficiales, y la longitud característica (B')¹⁴⁹

$$B' = \frac{A}{\frac{1}{2}P} = \frac{3231}{\frac{467.7}{2}} = 13,8$$

Siendo A el área de la solera en m² y P la longitud del perímetro expuesto de la solera en m

¹⁴⁹ Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana, «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.»

Forjado Sanitario			
	I (W/mK)	e(m)	R (m²K/W)
Pavimento de terrazo microgramo granítico 60x60	3,5	0,03	0,01
Capa de mortero	1,4	0,04	0,03
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado		0,35	0,21
Cámara Aire		60	
	R _{total} (m²K/W)		0,25

Tabla 17: Cálculo de la resistencia térmica del Forjado Sanitario según DA DB HE/1.
Fuente: Elaboración propia

Tabla 9 Transmitancia térmica U_s [W/m² K]

B'	R _t [m²K/W]						
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0
1	9,38	1,65	0,90	0,62	0,47	0,38	0,29
2	5,35	1,46	0,84	0,59	0,46	0,37	0,28
3	3,88	1,32	0,80	0,57	0,44	0,36	0,28
4	3,11	1,22	0,76	0,55	0,43	0,35	0,27
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35	0,27
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34	0,27
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33	0,26
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33	0,26
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32	0,26
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32	0,26
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,25
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,25

Ilustración 61: Recorte del DA DB HE 2019. Tabla 9

Por lo tanto, La transmitancia térmica del forjado sanitario es de 0.31 W/m²K

12.Estrategia 1: mejora de los elementos de la envolvente térmica

Una vez calculadas todas las transmitancias térmicas de los elementos de la envolvente y extraído del CTE DB HE1 los límites máximos permitidos en la actualidad es fácil relacionarlos para ver cuanto deberían disminuir las transmitancias de estos elementos:

	Transmitancia existente (W/m ² K)	Transmitancia exigidas tabla 3.1.1.a - HE1 (W/m ² K)	Transmitancia aconsejadas Anejo E - HE 1 (W/m ² K)	Porcentaje de mejora
<i>Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND</i>	0,375	0,41	0,27	28%
<i>Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón</i>	0,292	0,41	0,27	7%
<i>Fachada de G.R.C sobre paredes de termoarcilla</i>	0,252	0,41	0,27	/
<i>Cubierta</i>	0,242	0,35	0,22	9%
<i>Lucernario – muro (parte ciega)</i>	0,36	0,41	0,27	25%
<i>Lucernario – cubierta (parte ciega)</i>	0,36	0,35	0,22	39%
<i>Forjado entre sótano y planta baja</i>	0,83	0,65	0,48	42%
<i>Forjado sanitario</i>	0,31	0,65	0,48	/

Tabla 18: Comparación entre transmitancia existente, exigida y aconsejadas de los elementos que conforman la envolvente térmica. Fuente: Elaboración propia

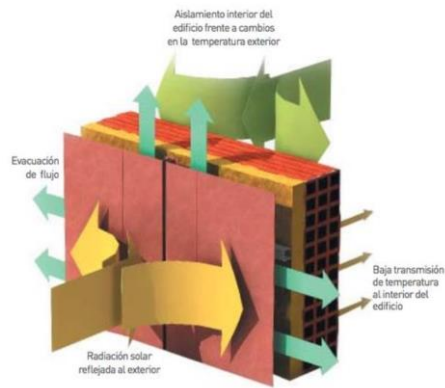
Por lo tanto, como podemos observar la mayoría de los elementos de la envolvente cumplen con los valores exigidos por el Código Técnico de la Edificación, aunque no los recomendados.

Existen varios sistemas para disminuir la transmitancia térmica de los muros. Lo primero que hay que decidir es si se quiere aislar por el interior o por el exterior. La gran ventaja de realizar una intervención por el interior del edificio es que permite conservar la estética exterior, sin embargo, reduce el espacio útil interior y no soluciona por sí mismo los puentes térmicos, por lo que el ahorro energético es menor. Por lo contrario, si se opta por un sistema de aislamiento por el exterior la estética se puede ver afectada (aunque hoy día con la gran variedad de materiales se pueden obtener acabados semejantes a los originales), puede suponer la invasión de espacio público por traspasar las alineaciones previas pero el ahorro energético es mayor.

Voy a plantear la realización de mejora a través de un sistema exterior ya que este edificio no tiene ninguna restricción en cuanto a la modificación de la fachada, tienen un mejor rendimiento energético y, además, supone una interferencia mínima con el usuario por lo que permitiría continuar con las clases mientras se realizan las obras.

Dentro de este grupo de sistemas de aislamiento por el exterior, las soluciones se pueden agrupar entre sistemas de fachadas ventiladas o sistemas de aislamiento térmico por el exterior (SATE).

El sistema de fachada ventilada consiste en la adición de una capa exterior paralela a la fachada que genere una cámara de aire intermedia. Esta cámara de aire funciona como colchón térmico para la climatización interior a la vez que genera una corriente por convección que permite la ventilación para humedades¹⁵⁰. Este sistema de cerramiento vertical está compuesto por: hoja exterior opaca, cámara de aire, aislante térmico y hoja interior (en el caso de la rehabilitación esta última hoja es el cerramiento existente).¹⁵¹



*Ilustración 62: Esquema del funcionamiento de la fachada ventilada.
Fuente: Tesis Doctoral de Camila Gregório Atem*

Los sistemas SATE consisten en un panel aislante prefabricado adherido al muro, cuya fijación habitual es por medio de anclajes mecánicos ayudados por un adhesivo. Hoja exterior opaca, capa base de armadura (formada por un mortero con una malla de fibra embebida), panel de aislamiento térmico, fijación (encolado o mecánica) y la hoja interior (que como en el caso anterior, si nos referimos a rehabilitación energética de la envolvente de un edificio esta última hoja es el cerramiento existente).¹⁵²

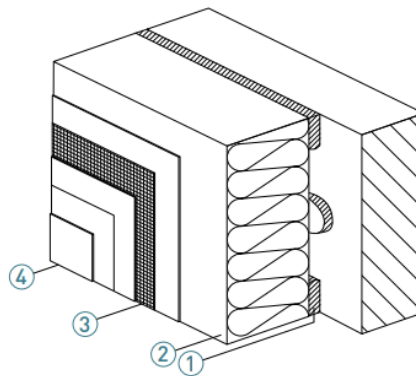


Ilustración 63: Esquema básico de sistema SATE. Fuente: IDAE

150 Vázquez y Prieto, «La fachada ventilada».

151 Gregório Atem, «Tesis doctoral. Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil.»

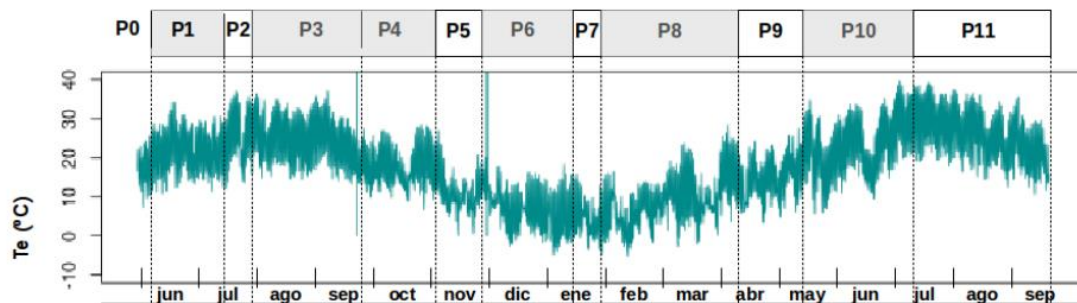
152 IDAE, «Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios».

Para conocer que sistema se adaptaría mejor a nuestro edificio, recurro a la tesis doctoral de Carmen Alonso Ruiz-Rivas¹⁵³. Esta arquitecta realiza en Madrid un ensayo practico controlado para comparar 3 tipos diferentes de fachada: una fachada tipo (M1 con $U=1,69 \text{ m}^2\text{K/W}$) y dos variaciones de esta, una incorporando un sistema de fachada ventilada (M2 con $U=0,48 \text{ m}^2\text{K/W}$) y otra añadiéndole un SATE (M3 con $U=0,49 \text{ m}^2\text{K/W}$). Esto se realiza colocando las soluciones constructivas sobre tres módulos cúbicos iguales, muy aislados y que disponen de equipos de climatización por aire en el interior.



Ilustración 64: Vista general de los tres módulos de ensayo. Fuente: D^a Carmen Alonso Ruiz-Rivas

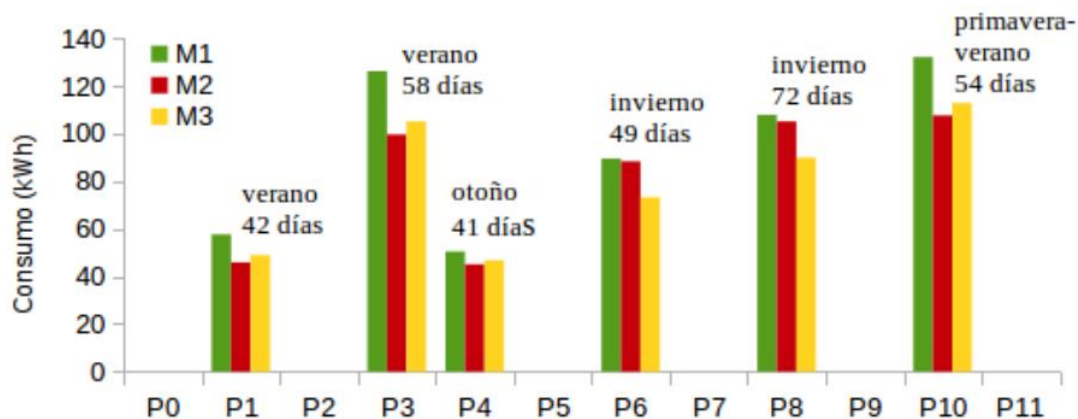
Realiza mediciones de estos tres cubos durante más de un año, desde junio de 2014 hasta septiembre de 2015, y toma diferentes periodos temporales que analiza por separado.



Gráfica 19: Evolución de la temperatura ambiental exterior (°C) durante el periodo de estudio.

Fuente: D^a Carmen Alonso Ruiz-Rivas

153 Carmen Alonso Ruiz-Rivas, «Rehabilitación energética de fachadas: propuesta metodológica para la evaluación de soluciones innovadoras, basándose en el diagnóstico de viviendas sociales construidas entre 1940 y 1980.»



Gráfica 20:: Consumo de calefacción y refrigeración en los tres módulos de ensayo según los periodos de estudio.
Fuente Carmen Alonso Ruiz-Rivas

Viendo estos resultados, la conclusión a la que se llega es que la fachada tipo SATE presenta mejoras estables a lo largo de todo el año, reduciendo en un 18% el consumo en invierno y un 16% en verano. Mientras que las fachadas ventiladas muestran mejor funcionamiento en verano que en invierno, con una reducción del 20% del consumo en verano frente al 2% de reducción en invierno.¹⁵⁴

Si observamos la Gráfica 11, podemos observar como en el Edificio Lorenzo Normante el mayor consumo tiene lugar en el periodo de invierno, por lo que el sistema escogido para analizar es el de fachada SATE.

Existe una gran variedad de materiales empleados como aislantes térmicos en un sistema SATE, los más comunes son: poliestireno expandido EPS ($\lambda=0,037\text{W/mK}$ por unos 53€/m^2), poliestireno expandido de grafito EPS ($\lambda=0,032\text{W/mK}$ por unos 61€/m^2), lana mineral MW ($\lambda=0,036\text{W/mK}$ por unos 62€/m^2), poliuretano conformado PUR ($\lambda=0,030\text{W/mK}$ por unos 62€/m^2), poliestireno extruido XPS ($\lambda=0,034\text{W/mK}$ por unos 73€/m^2).^{155 156 157}

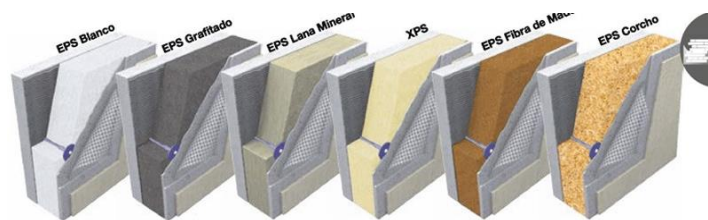


Ilustración 65: Materiales aislantes para fachada SATE: Fuente: www.fachadasate.com

¹⁵⁴ Carmen Alonso Ruiz-Rivas.

¹⁵⁵ IDAE, «Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envolvente Térmica de los Edificios».

¹⁵⁶ ISAVAL, «Catálogo técnico 2020 Rhonatherm».

¹⁵⁷ «Tienda online experta en SATE - Sistema de Aislamiento Térmico Exterior».

Si elegimos el EPS por ser el más económico como material de referencia, y lo empleásemos en toda la superficie de cerramientos opacos del edificio, alrededor de los 10.502 m² (Fachada norte 1.042m², fachada este 855m², fachada sur 680m², fachada oeste 1.005m², cubierta 3.460m², forjado planta baja 3.460m²) supondría un presupuesto de ejecución material aproximado de 10.502 m² * 53€/ m²=556.606€. A esto habría que añadirle un 6% de beneficio industrial y un 13% de gastos generales, obteniendo así el presupuesto de ejecución por contrata que sería de unos 662.361€. Que, si le añadimos el 21% de IVA quedaría un presupuesto total de unos 801.457€.

Suponiendo que nuestro beneficio fuese similar al obtenido en el caso de estudio de D^a Carmen Alonso Ruiz-Rivas y consiguiésemos un ahorro global del 17% entonces:

Cerramiento	Consumo actual (kWh)	Importe sin impuesto (€)	Porcentaje de mejora (%)	Consumo resultante (kWh)	Ahorro resultante (€)
Muros	49.805	4.045	17	41.338	687
Suelos	7.471	607	17	6.200	103
Cubierta	13.696	1.112	17	11367	189
Total:					979

Tabla 19: Ahorro energético y económico producido por la colocación de SATE. Fuente: Elaboración propia

Es decir, necesitamos una inversión de 801.457 € para conseguir un ahorro anual de unos 979 € al año por se necesitarían más de 800 años para que fuese rentable.

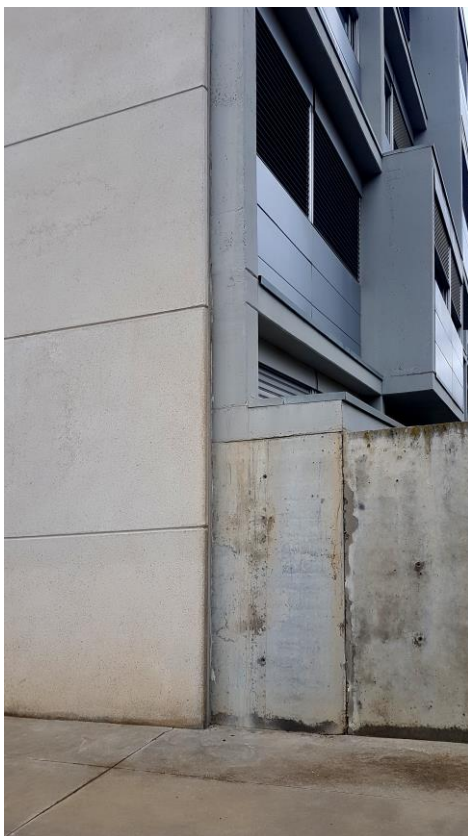
14. Estrategia 2: puentes térmicos

El código técnico define los puentes térmicos como:

*“Aquella zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.”*¹⁵⁸

Para localizar e identificar los puentes térmicos del edificio, se han analizado la documentación recopilada, especialmente los planos y memorias del proyecto de ejecución y se han realizado visitas al edificio para reconocer los diferentes elementos.

Si observamos el edificio desde el exterior, gran parte de estos puentes térmicos son fácilmente identificables ya que presentan un acabado distinto: GRC para los elementos aislados por el exterior y hormigón caravista para aquellos que no lo están.



*Ilustración 66: Puente térmico por continuación de fachada sin aislamiento.
Fuente: Elaboración propia*



*Ilustración 67: Puente térmico por viga sin aislar.
Fuente: Elaboración propia*

¹⁵⁸ «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/3 Puentes térmicos.»



Ilustración 68: Puente térmico forjados y pilares sin aislar. Fuente: Elaboración propia



Ilustración 69: Puente térmico vigas y pilares de hormigón armado sin aislar y encuentro con carpintería. Fuente: Elaboración propia

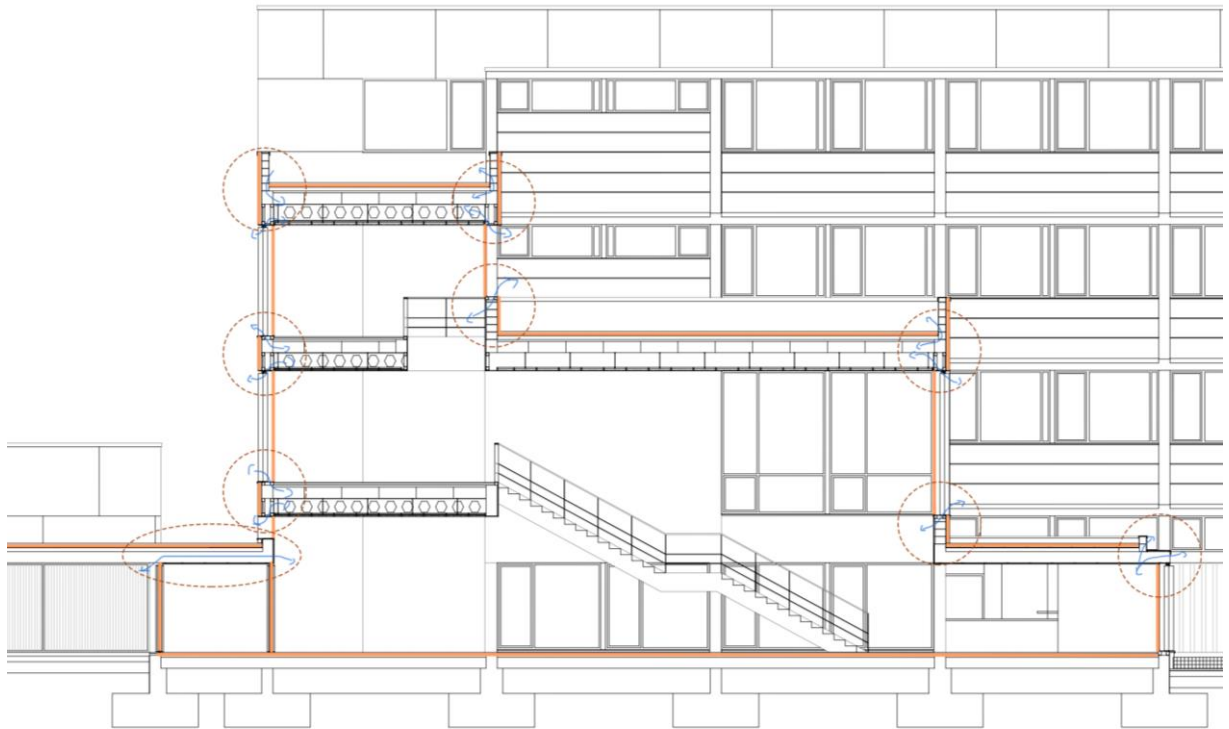


Ilustración 70: Identificación de puentes térmicos en sección por hall acceso. Fuente: Elaboración propia

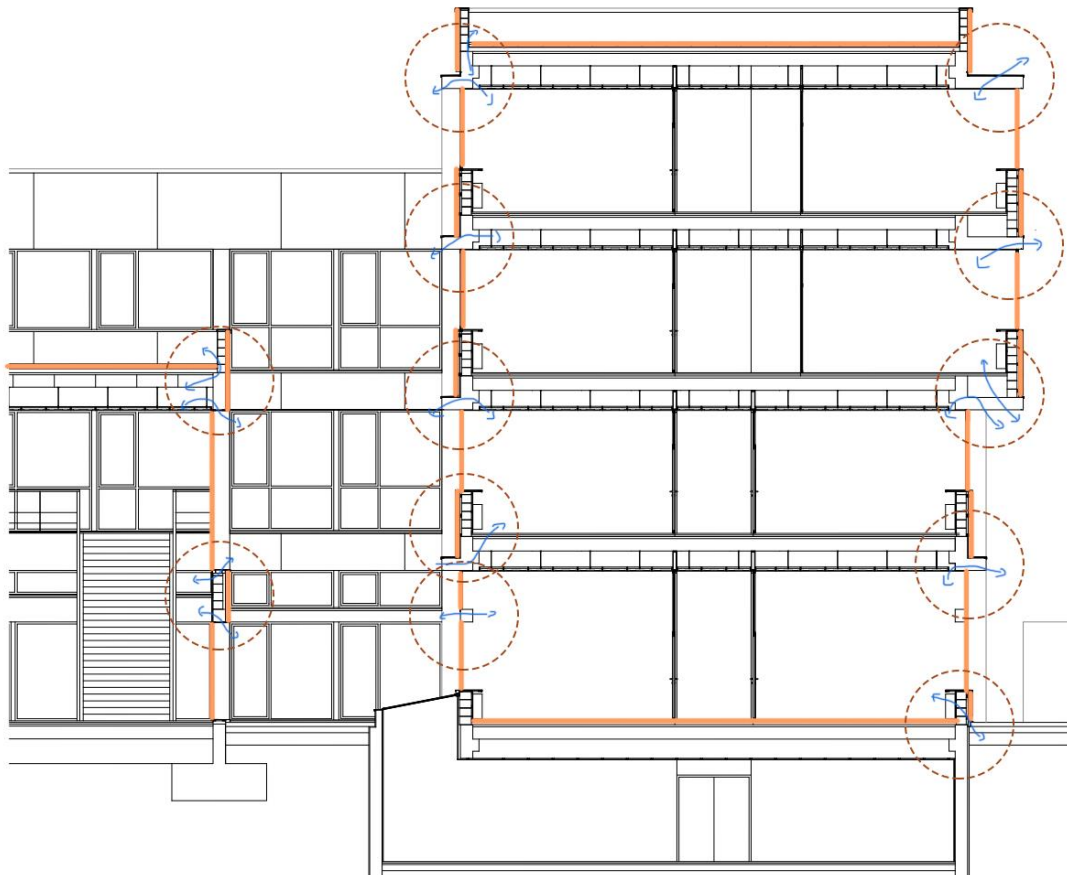


Ilustración 71: Identificación de puentes térmicos en sección por sección transversal del bloque departamental. Fuente: Elaboración propia

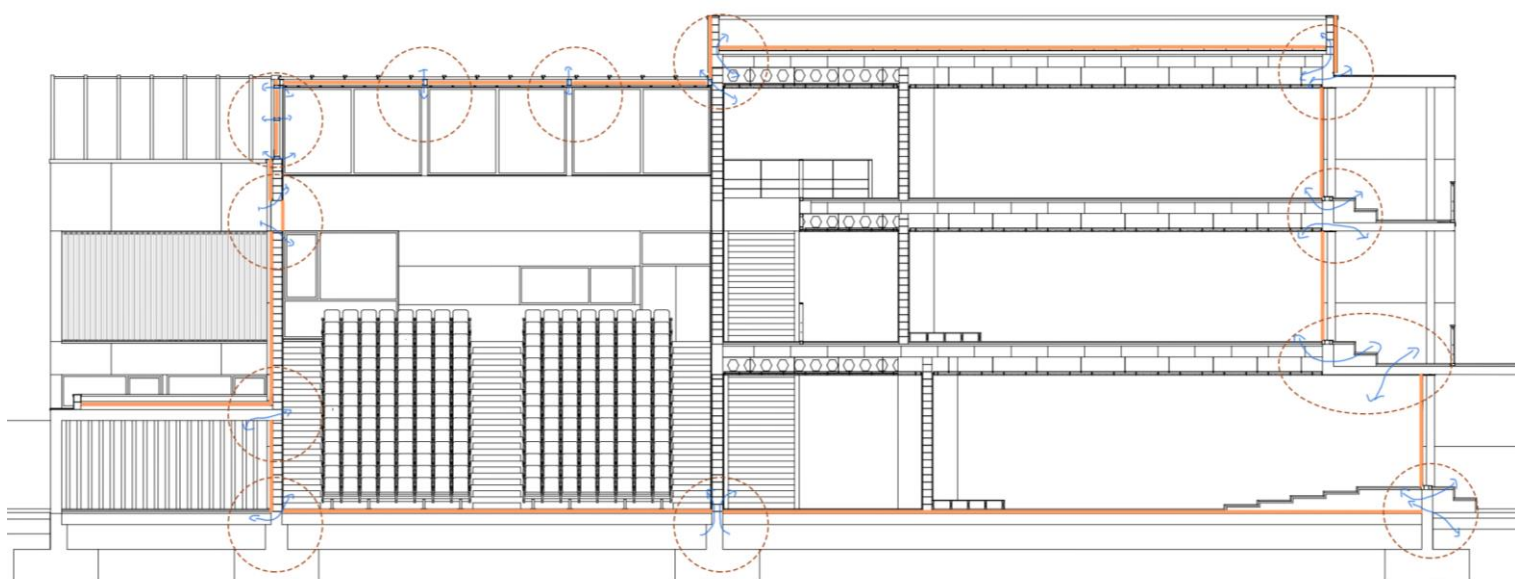


Ilustración 72: Identificación de puentes térmicos en sección por sección transversal por las aulas. Fuente: Elaboración propia

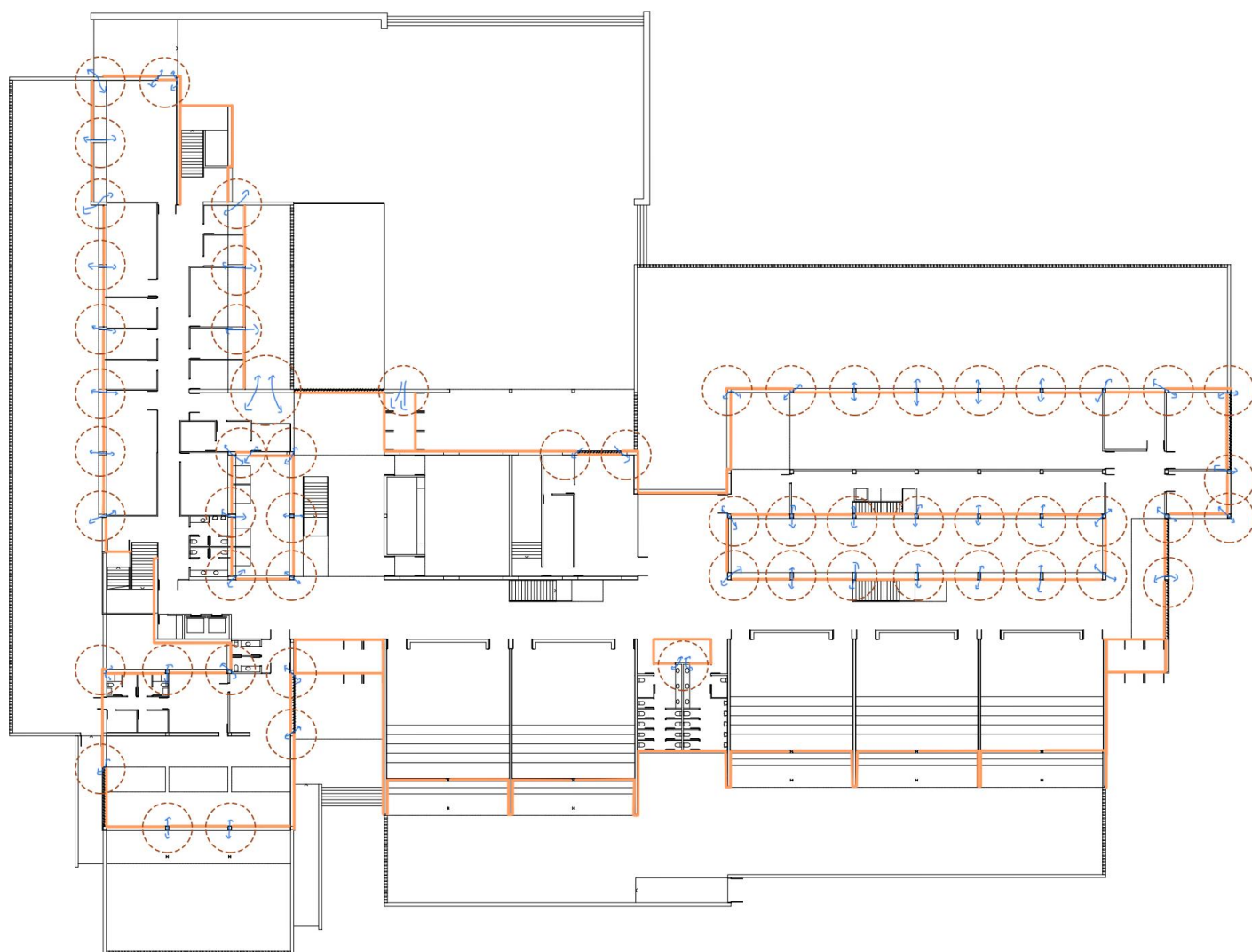


Ilustración 73: Identificación de puentes térmicos en planta baja. Fuente: Elaboración propia

Si seguimos el orden establecido por el Código Técnico de la Edificación, los puentes térmicos se pueden organizar en los siguientes grupos:¹⁵⁹

- Puentes térmicos integrados en los cerramientos:
 - X Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas.

Los pilares que se encuentran en el interior de los cerramientos opacos de la fachada no generan puente térmico ya que no rompe la continuidad del acabado de GRC, que contiene una placa de 8 cm de poliestireno expandido.

Lo que sí se puede ver es como cuando el pilar entra en contacto con el contorno de una ventana se produce un puente térmico, pero este se encuentra dentro del siguiente apartado.

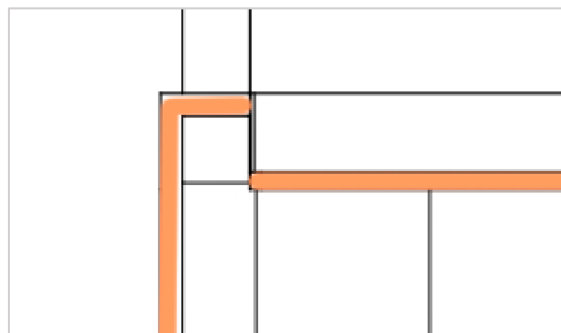


Ilustración 74: Ausencia de puentes térmicos por pilares integrados en los cerramientos de las fachadas. Fuente: Elaboración propia

- ✓ Contorno de huecos y lucernarios.

Este está presente continuamente en todos los huecos del edificio. Se debe a que la ventana no está alineada con el aislamiento térmico, por lo que se queda un espacio libre por donde fluye el calor con facilidad. Esto ocurre en todo el perímetro de los huecos.

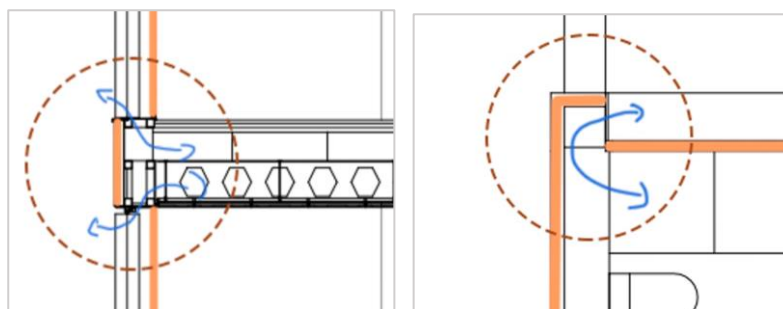


Ilustración 75: Puentes térmicos en el contorno de los huecos y lucernarios. Fuente: Elaboración propia

159 «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/3 Puentes térmicos.»

Para que este puente térmico no existiese lo ideal sería que las ventanas estuviesen alineadas con el aislamiento térmico de la fachada¹⁶⁰. Como esto no es así tenemos varias opciones, se podría contemplar la opción de sustituir la ventana por otra y ubicarla alineándola a la cara exterior. Otra opción sería mantener la ventana actual y añadirle una contraventana exterior que estuviese alineada con el aislamiento. Y si no se podría ampliar el aislamiento térmico, doblándolo sobre el marco de la ventana para que, pese a no estar alineado, no exista ningún espacio sin cubrir.

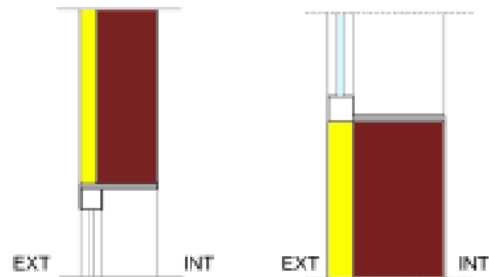


Ilustración 76: solución para puente térmico en jamba y dintel. Fuente DA-DB-HE/3

X Cajas de persianas.

No está presente ya que no hay persianas en el edificio. El sombreado de los huecos se resuelve por medio de lamas exteriores

- Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos
 - ✓ Frontes de forjado en las fachadas.

Estos aparecen a lo largo de todo el bloque departamental, donde el forjado se parte para generar una terraza escalonada exterior donde el cerramiento de ALUCOBOND no recubre el forjado, por lo que queda completamente expuesto al exterior.

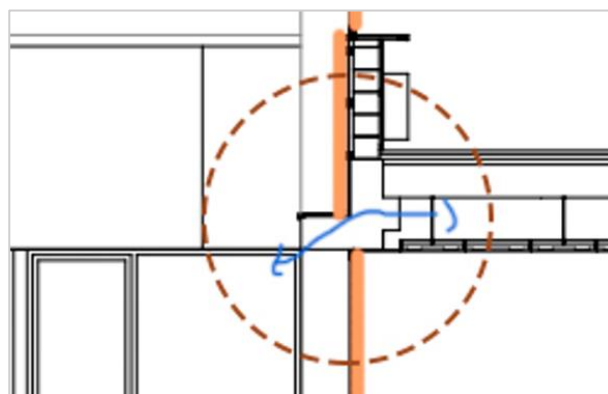
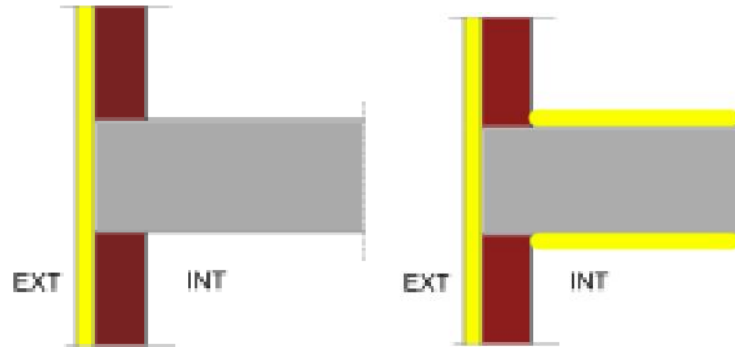


Ilustración 77: Puentes térmicos producidos por el frente de los forjados en fachada. Fuente: Elaboración propia

¹⁶⁰ «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/3 Puentes térmicos.»

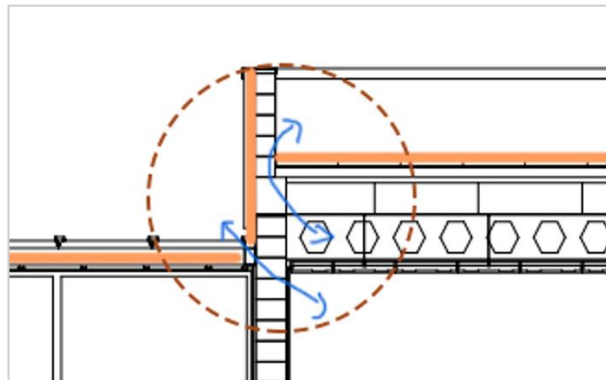
Para evitar este tipo de puentes térmicos lo que se necesitaría es generar continuidad en el aislamiento, para ello sería necesario añadir aislamiento térmico por el exterior. También está extendido la opción de prolongar el aislamiento térmico por el interior del forjado durante 1,5m.



*Ilustración 78: Solución de puente térmico por frente de forjado en cubierta.
Fuente DA-DB-HE/3 y elaboración propia*

- ✓ Uniones de cubiertas con fachadas
 - ✓ Cubiertas con pretil

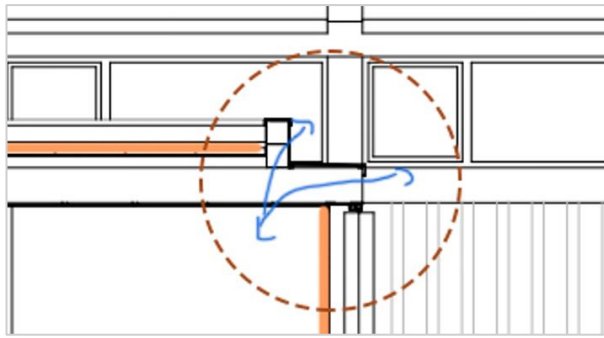
Todas las cubiertas del edificio, salvo la que cierra el vestíbulo de la planta baja, posee pretil. Es a partir de este por donde se genera un puente térmico, ya que por la cara exterior esta recubierto por G.R.C, pero no tiene ningún tipo de aislamiento térmico en la cara interior.



*Ilustración 79: Puentes térmicos producidos por la cubierta con pretil.
Fuente: Elaboración propia*

- ✓ Cubiertas sin pretil

Se trata exclusivamente de la cubierta que cierra el vestíbulo de planta baja. En este caso a los arquitectos les interesaba que la apariencia de la cubierta en fachada fuese lo más fina posible, por lo que retranquearon las capas no estructurales de la cubierta, dejando así un espacio en el perímetro de esta libre de aislamiento térmico.



*Ilustración 80: Puentes térmicos producidos por cubiertas sin pretil.
Fuente: Elaboración propia*

Para evitar este tipo de puentes térmicos lo que se necesitaría es generar continuidad en el aislamiento, para ello sería necesario añadir aislamiento térmico por el exterior o por el interior (prolongándolo como mínimo 1,5m. desde el pretil)

- Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno
 - ✓ Unión de fachada con losa o solera

Al estar la fachada aislada por el exterior, en el punto de encuentro de esta con el forjado sanitario interior aparece un puente térmico por el muro de fábrica.

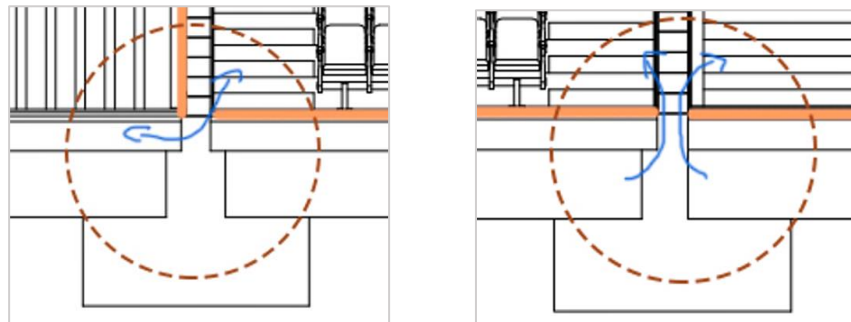


Ilustración 81: Puentes térmicos producidos por el contacto de elementos estructurales con el forjado sanitario. Fuente: Elaboración propia

La solución para este puente térmico es colocar aislamiento térmico en la cara interior del muro, subiéndolo al menos 1.5m

X Esquinas o encuentros de fachadas.

No se genera puentes térmicos en las esquinas ya que el aislamiento va continuo por el exterior.



Ilustración 82: Puentes térmicos producidos por las esquinas o encuentros de fachada.

Fuente: Elaboración propia

✓ Encuentros de voladizos con fachadas

En todas las aulas y en los despachos que sobresalen de la línea de la fachada oeste encontramos este tipo de puente térmico. Los voladizos no han sido resueltos teniendo en cuenta su función térmica por lo que el forjado permanece completamente expuesto al aire exterior.

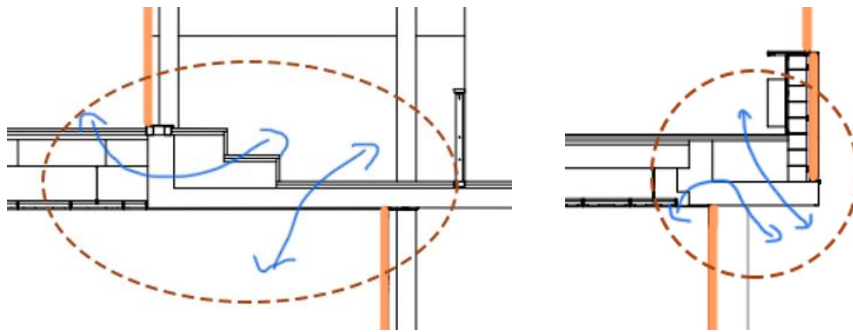


Ilustración 83: Puentes térmicos producidos por encuentro de voladizo con fachada.

Fuente: Elaboración propia

Para conseguir la continuidad en el aislamiento térmico deberíamos aislaren el caso de los despachos (imagen de la derecha) continuar el aislamiento por el exterior conectando la ventana con el revestimiento de ALUCOBOND. Las aulas tienen un tratamiento más complejo, ya que deberíamos o bien revestir la totalidad del elemento saliente, que supondría un gasto material muy elevado, o aislar la parte superior del forjado por el exterior y además, colocar 1.5m de aislamiento en el perímetro interior de la cara inferior del forjado.

Además de estos elementos considerados por el código técnico, hay que añadir los aireadores con los que están dotadas todas las ventanas del área departamental. Estos son los responsables de la ventilación de los despachos, pero, aun cuando se encuentran cerrados y no permiten el flujo de aire, suponen una gran pérdida térmica, al ser una única placa metálica lo que separa el interior del exterior.



Ilustración 84: Puente térmicos producido por los aireadores. Fuente: Elaboración propia

Si se realizase un sistema de ventilación forzada, como se explicará en el apartado siguiente, la función principal de los aireadores quedaría obsoleta, por lo que estos podrían eliminarse. Quitarlos supondría tener que cambiar toda la carpintería, ya que la ventana y el aireador son un único elemento. Pero, puesto que su uso ya no es necesario igual se podría plantear cegarlos e inutilizarlos colocando un material aislante por el exterior.

Por lo que se puede ver hay una alta presencia de puentes térmicos en el Edificio Lorenzo Normante, que de acuerdo con lo presentado en el apartado 11 y recogido en la tabla 12, si se solventasen supondrían un ahorro del 11.5 % sobre el consumo total del edificio, es decir, unos 77.398 kWh/año, lo que supone alrededor de 6.286 €/año

15.Descripción del sistema de climatización y ventilación

El proyecto de climatización se encarga a INCLIZA, S.L. despacho de ingeniería de climatización zaragozana, y lo desarrolla la ingeniera técnica industrial D^a María del Mar Castellón García en octubre de 2002.

La instalación de climatización tiene su origen en la central de producción de energía compuesta por la planta enfriadora (formada por dos bombas de calor compactas agua-agua con motor eléctrico) preparada para inversión de ciclo, situada en el sótano. Este equipo producirá agua caliente o fría en función de las necesidades térmicas del edificio.¹⁶¹



Ilustración 85:Bomba de calor del edificio Lorenzo Normante. Fuente: elaboración propia

La producción de refrigeración y calefacción se realiza con la bomba de calor CIAT LR-1803.2, la cual consume 157,2 kW de potencia nominal absorbida y proporciona 396 kW de potencia frigorífica en condiciones nominales de operación.

¹⁶¹ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».



Ilustración 86: Placa de características de la bomba de calor CIAT, modelo LR-1803.2.

Fuente: Elaboración propia

Una bomba de calor es un dispositivo que establece un flujo de calor desde un foco frío a uno caliente gracias a un consumo de trabajo llevado a cabo por un compresor, de manera que cuanto mayor sea la diferencia de temperatura entre focos, peor será el rendimiento energético de la máquina.¹⁶²

La bomba de calor se fundamenta en el comportamiento de los gases que describieron Boyle, Mariotte, Charles y Gay-Lussac: «Un gas se calienta cuando se comprime y se enfría cuando se expande».¹⁶³

El circuito termodinámico de la bomba de calor tiene cuatro etapas. El fluido se comprime y calienta, para después disipar el calor en un condensador; posteriormente, se expande en una válvula de expansión, es decir, se enfría, y por lo tanto puede absorber calor en el evaporador. Así pues, tenemos un condensador en el que se cede calor al entorno y un evaporador del que se obtiene calor del entorno.¹⁶⁴

Este circuito es apto tanto para calefacción como para refrigeración. En verano, en modo refrigeración, es el evaporador lo que se encuentra dentro del edificio, y el compresor en el exterior; de esta forma el calor pasa del interior al exterior. En invierno, en modo calefacción, el circuito funciona a la inversa: el condensador se encuentra en el interior y el evaporador en el exterior, por lo que el calor pasa del exterior al interior.¹⁶⁵

Una bomba de calor geotérmica tiene el mismo circuito termodinámico, con la diferencia de que el exterior es el subsuelo. Esto es una ventaja porque la sonda permanece a una temperatura constante durante todo el año. Teniendo en cuenta que la eficiencia es inversamente proporcional a la diferencia entre el foco frío y el foco caliente, para un trabajo útil realizado por

¹⁶² De Isabel García, «La geotermia de baja entalpía para climatización».

¹⁶³ De Isabel García.

¹⁶⁴ De Isabel García.

¹⁶⁵ De Isabel García.

la bomba de calor, si esta cuenta con el apoyo de un sistema geotérmico, el consumo eléctrico será menor.¹⁶⁶

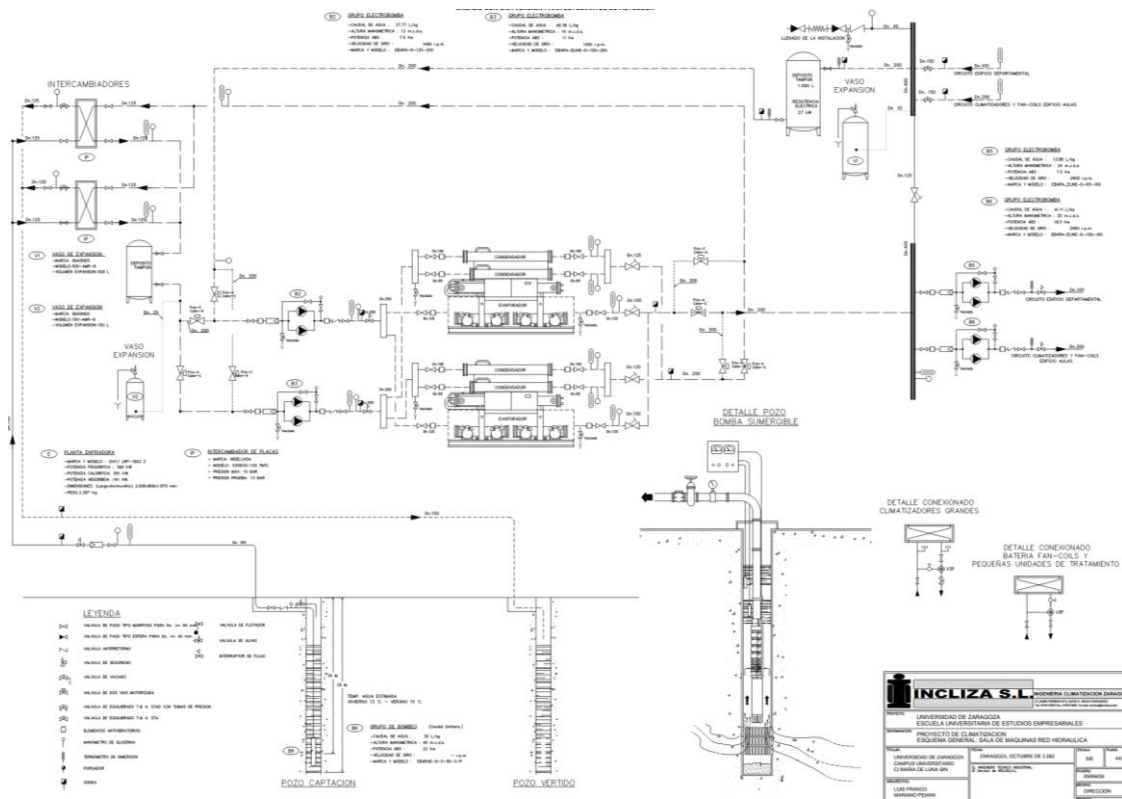


Ilustración 87: Esquema general: sala de máquinas red hidráulica. Fuente: INCLIZA S.L.

Como podemos ver en la Ilustración 26, en el Edificio Lorenzo Normante, la bomba de calor se ayuda con un sistema geotérmico de baja temperatura en bucle abierto, es decir, se realizan dos pozos, uno de captación y otro de vertido. Este sistema requiere un mayor mantenimiento a los sistemas cerrados debido a la suciedad absorbida que puede acumularse y obstruir el intercambiador. La toma se realiza a 30 m de profundidad (nivel freático a 8 m de profundidad) garantizando que la temperatura del agua del pozo sea estable durante todo el año con temperaturas entre los 16-17 °C.¹⁶⁷

Cuando la bomba trabaja en modo refrigeración, se alcanzan temperaturas de agua fría entorno a los 7 °C, retornando agua hacia el evaporador a 12 °C para enfriarla de nuevo. Por su parte, cuando existe la necesidad de calefacción, se llega a producir agua a 45 °C y un retorno a 35 °C de temperatura.¹⁶⁸

¹⁶⁶ De Isabel García.

¹⁶⁷ Vicioso Palacín, «Trabajo Fin de Grado: Análisis de metodologías para el estudio de la rehabilitación de edificios universitarios en UNIZAR. Caso de estudio Edificio Lorenzo Normante.»

¹⁶⁸ Vicioso Palacín.

Debido a que todas las zonas del edificio tienen un uso semejante, se consideró que no era necesario la producción simultánea de frío y calor. Por ello, desde la central de producción se distribuye el agua fría o caliente por un sistema único de tuberías que alimenta las unidades climatizadoras y Fan-coils de las distintas plantas. Estas se agrupan en dos circuitos diferentes, uno que se encarga de suministrar agua caliente o fría a los fancoils del ala de departamentos y al climatizador de la cafetería y otro circuito que cubre el resto de fancoils y climatizadores.¹⁶⁹

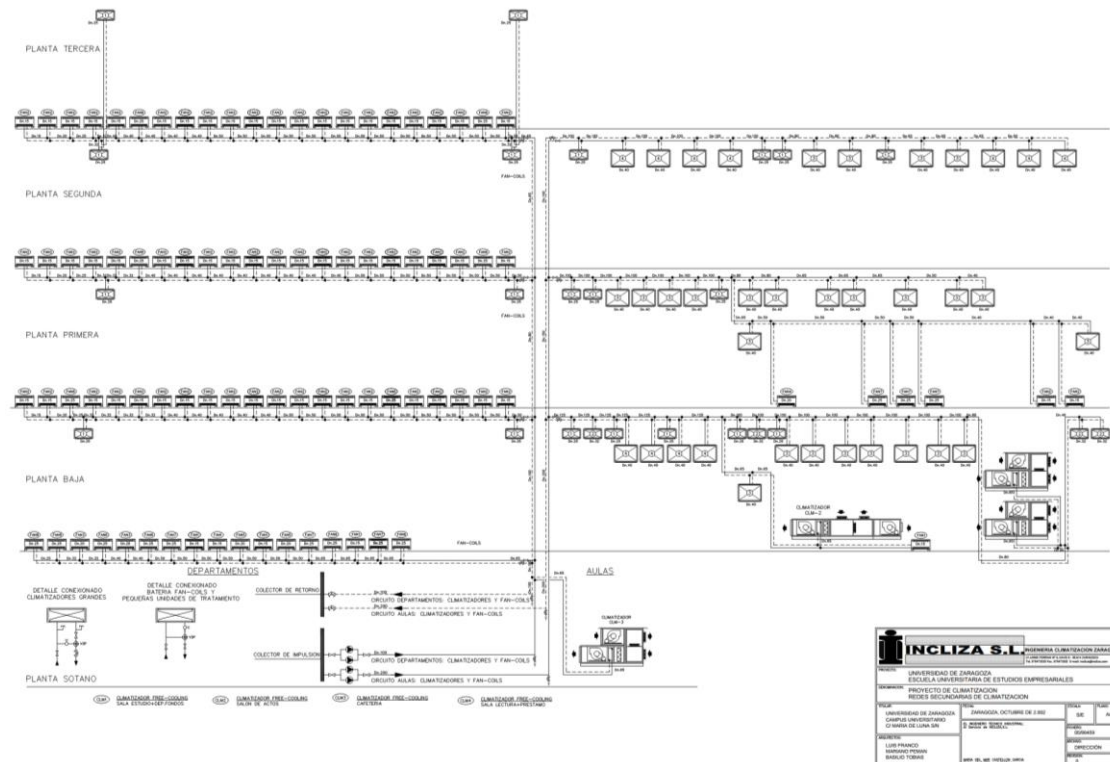


Ilustración 88: Esquema de principios de red secundaria de climatización. Fuente: INCLIZA S.L

La instalación cuenta con unidades climatizadoras y fan-coils independientes para cada dependencia. De esa forma se puede racionalizar el uso de la climatización, cerrando aquellos recintos que no estén ocupados.

En el edificio se utilizan un total de 4 climatizadores (Unidades de Tratamiento de Aire) destinados para acondicionar los grandes espacios: dos se sitúan en una sala independiente en el extremo oriente de la planta baja (Clim1, destinado para la sala de estudio y el departamento de fondos; Clim4, para la sala de lectura y préstamo), encontramos otro en planta baja, bajo el graderío del salón de actos, con acceso desde reprografía (Clim2, cuya función es climatizar el

¹⁶⁹ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

salón de actos. Es el único que posee silenciador) y el último se encuentra en el sótano (Clim3, que se encarga de la cafetería).¹⁷⁰



Ilustración 89: Climatizador de la Sala de estudios. Fuente: Elaboración propia

Estos climatizadores funcionan exclusivamente con el fin de solventar la climatización de los espacios interiores, la ventilación se resuelve de forma manual a través de las ventanas. Es cierto que poseen una toma de aire exterior situadas en fachada, pero estas se utilizan para la realización del sistema “free-cooling” (o enfriamiento gratuito con aire exterior) cuando el clima exterior lo permite. Ninguno de ellos cuenta con recuperador de calor.^{171 172}

En cuanto a los fan-coils encontramos de 2 tipos diferentes:

¹⁷⁰ INCLIZA S.L, «Proyecto de climatización para la Universidad de Zaragoza. Escuela Universitaria de Estudios Empresariales».

¹⁷¹ INCLIZA S.L.

¹⁷² Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

Por un lado, se disponen unidades fan-coils de tipo horizontal con sujeción suspendida, con impulsión a través de una red de conductos y retorno por conducto, para sistema de 2 tubos. Estos se encuentran en reprografía, los seminarios, la hemeroteca y los espacios de circulación.



*Ilustración 90: Imagen de rejillas de toma y retorno a fan-coil de techo en el pasillo de la planta baja.
Fuente: Elaboración propia.*

También encontramos este tipo de fan-coils en las aulas, con la diferencia de que estos se resuelven con un retorno por plenum y están dotados con un sistema de toma de aire exterior, que consiste en un tubo hueco abierto en el falso techo, que conecta el interior con el exterior, permitiendo la entrada de aire limpio al espacio comprendido entre el forjado y el falso techo, que se mezcla con el aire viciado, extraído a través de una serie de rejillas de lamas fijas montadas en techo, antes de ser tratado por el fan-coil.¹⁷³



Ilustración 91: Partes del tubo de toma de aire exterior de un aula. Fuente: elaboración propia

¹⁷³ INCLIZA S.L, «Proyecto de climatización para la Universidad de Zaragoza. Escuela Universitaria de Estudios Empresariales».

Por otro lado, encontramos unidades Fan-coils de tipo vertical con sujeción de pie, para sistema de 2 tubos en los Departamentos y Delegación de alumnos. Donde la ventilación es manual a través de aireadores dispuestos en los laterales de las ventanas.¹⁷⁴



Ilustración 92: Imagen fan-coil y ventana con aireador de un despacho. Fuente: Elaboración propia

Hay extracción mecánica de volumen constante en la sala de máquinas y vestuarios del sótano, en la cafetería situada en planta baja y en los aseos de las distintas plantas.¹⁷⁵

¹⁷⁴ INCLIZA S.L.

¹⁷⁵ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

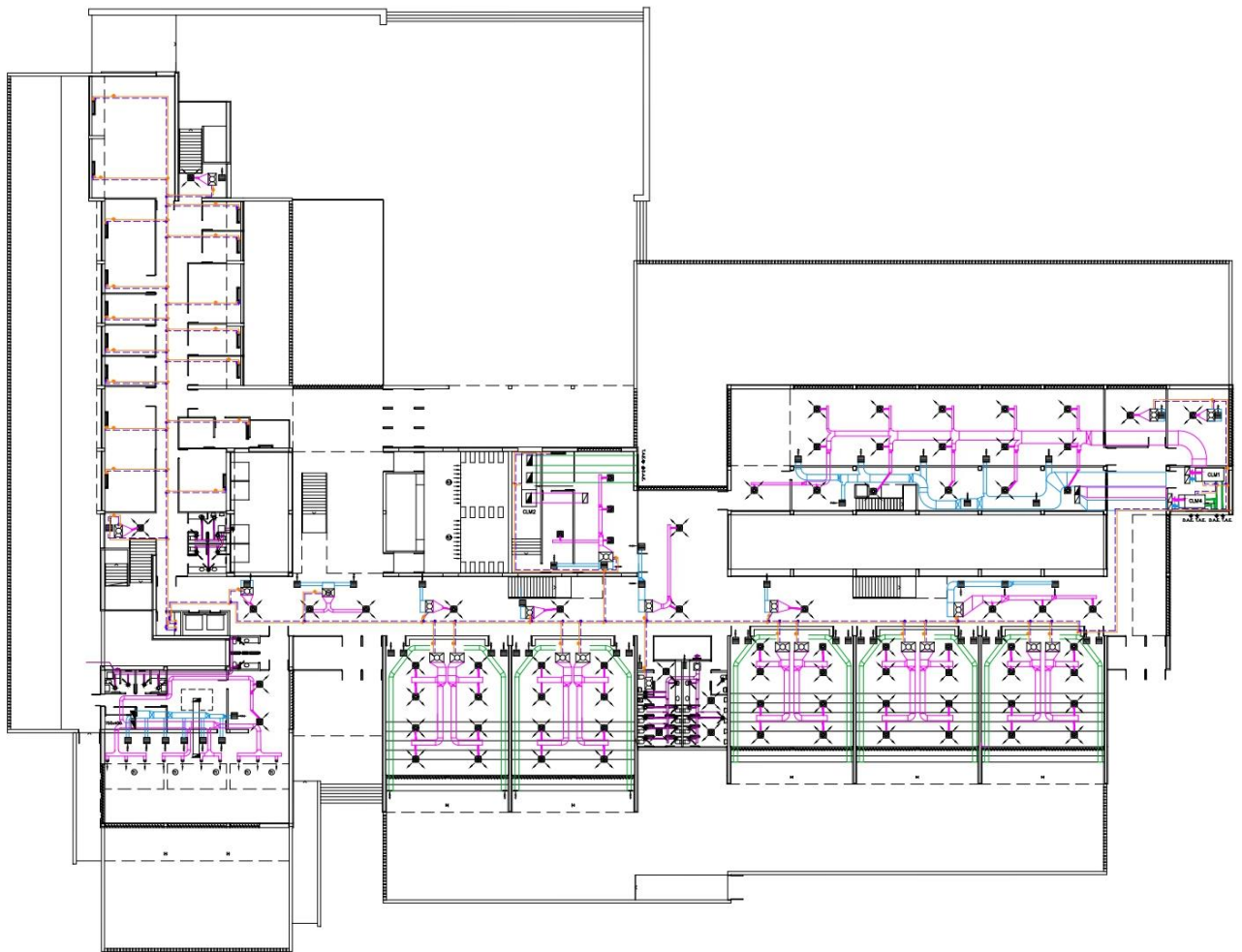


Ilustración 93: Distribución de conductos y red hidráulica para climatización en la planta baja.

Fuente: Elaboración propia a partir de planos de INCLIZA

16. Estrategia 3: Control del sistema de ventilación.

Como se ha explicado en el apartado anterior, la ventilación de este edificio no se resuelve de una forma controlada, si no que se deja a manos de los usuarios basándola en la apertura de ventanas, aireadores, cuando estos lo consideren necesario. Salvo en las aulas, donde tampoco tiene un control, pero existe un intercambio continuo entre el aire interior y exterior por medio de un tubo abierto (ilustración 90).

En la actualidad, somos mucho más conscientes de la importancia de una adecuada ventilación para tener una buena calidad del aire. Esto se debe en gran medida a la pandemia producida por el COVID-19 que nos ha hecho abrir los ojos ante la acumulación de gases y agentes contaminantes en los espacios interiores, y como, gracias a una adecuada ventilación, su presencia puede disminuir considerablemente. Las instalaciones de climatización pueden ser un aliado que ayude a reducir el riesgo de contagio además de evitar expandir el coronavirus a otras zonas del edificio.¹⁷⁶

La principal recomendación actual para la adecuada ventilación de los espacios interiores es la generación de un caudal mínimo de aire exterior de 12.5 l/s y ocupante. Se trata del valor que el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios atribuye a IDA 2: aire de buena calidad. En un edificio existente se puede comprobar midiendo el nivel de CO₂ y comprobando que se encuentre 500 ppm por debajo del aire exterior.¹⁷⁷

En un espacio interior las renovaciones de aire (Air Changes per Hour, ACH) se calcula, teniendo en cuenta las nuevas exigencias por el COVID 19, de la siguiente forma:¹⁷⁸

$$ACH = \frac{\text{Caudal (l/s)} * n^{\circ} \text{ personas} * 3600 \text{ s/h} * 0,001 \text{ m}^3/\text{l}}{\text{volumen sala m}^3}$$

Por poner un ejemplo, en nuestro edificio un aula tipo podría ser un espacio en planta de 154 m², con 3.5 m de altura y tener un aforo máximo de 160 personas, necesitaría, si estuviese al 100% de su capacidad 13.5 ACH. Sin embargo, en contadas ocasiones encontramos estas aulas con su ocupación máxima.

Para hacerme una idea de cuantas personas podría estar utilizando el aula habitualmente de forma simultánea, he obtenido el número de plazas ofertadas para el Grado de Finanzas y Contabilidad (150 alumnos)¹⁷⁹, que se organizan en 2 grupos diferentes, uno en horario de mañana y otro de tardes, por lo que tendríamos un total de 75 alumnos por clase.¹⁸⁰ Para esta cantidad de alumnos necesitaríamos 6.26 ACH.

¹⁷⁶ ATECYR, «Posicionamiento de ATECYR sobre las medidas a realizar en la operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio por COVID-19».

¹⁷⁷ ATECYR, «Guía de ATECYR de recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio por COVID-19».

¹⁷⁸ Minguillón et al., «Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura».

¹⁷⁹ Universidad de Zaragoza, «Informe de evaluación de calidad y de los resultados del aprendizaje - Graduado en Finanzas y Contabilidad».

¹⁸⁰ UNIZAR, «Publicación de las listas de admitidos y reclamaciones».

Si esta gran cantidad de aire limpio la tomamos directamente del exterior es una enorme pérdida energética. Esto se puede resolver generando un sistema de ventilación mecánica dotada con sistemas de ahorro energético.

Estos sistemas son:

- Sistema free-cooling: El sistema de “free-cooling” o enfriamiento gratuito consiste en parar el sistema de producción de frío y coger todo el aire del exterior cuando las condiciones exteriores sean más favorables que las del espacio que deseemos climatizar.¹⁸¹

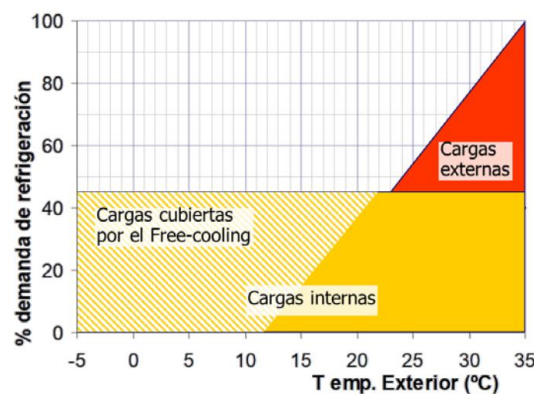


Ilustración 94: Perfil de cargas cubiertas por el free-cooling. Fuente: Oscar Robé Torrijo

Las 4 climatizadoras empleadas en el Edificio Lorenzo Normante están dotadas con este sistema

- Recuperación de calor de aire de extracción: permite pretratar el aire exterior, para que el aire mantenga una adecuada calidad del aire interior sin penalizar energéticamente los sistemas de adecuación higrotérmica del aire impulsado al interior de las estancias del edificio.¹⁸²

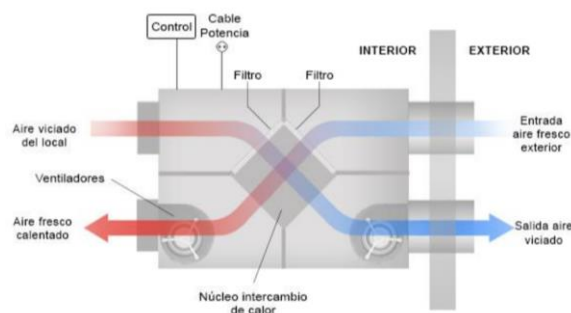


Ilustración 95: Esquema recuperador de calor de placas y flujo cruzado. Fuente: TFM Silvia Cordero de la Rosa

¹⁸¹ Ribé Torrijano, «Estudio de la mejora de la eficiencia energética de la ventilación en sistemas de climatización con el uso de recuperadores de calor. Tesis Doctoral».

¹⁸² Cordero de la Rosa, «Evaluación del efecto del bypass en recuperadores de calor sobre el consumo energético de ventilación. Caso de estudio. Trabajo Fin de Máster.»

Existen varios tipos de recuperadores que se pueden clasificar según sus características constructivas (estáticos o rotativos) o por la forma de intercambio de calor que realicen (sensibles o entálpicos).¹⁸³

	Estático (placas)		Rotativo	
	Sensible	Entálpicos	Sensible	Entálpicos
Eficiencia sensible	50-75%	55-75%	65-80%	65-80%
Eficiencia latente	0	25-60%	0	25-60%
Caudal de aire	200-30,000 m ³ /h	500-2,000 m ³ /h	500-200,000 m ³ /h	500-200,000 m ³ /h
Ventajas	Simplicidad constructiva Sin partes móviles Bajo coste Facilidad de limpieza		Equipo compacto Elevada eficiencia Baja pérdida de carga Facilidad de limpieza	
Limitaciones	bajos y medios caudales		Mayor nivel de fuga de aire No recomendado para locales con alta exigencia de calidad de aire	

Tabla 20: Comparativa y características de diferentes tipologías de recuperador de calor.
Fuente: Elaboración propia a partir de datos de Oscar Robé Torrijano.

Si seguimos consideramos el máximo de ocupantes en el edificio: 2374 personas (2 aulas de 160 plazas, 8 aulas de 130 plazas, 3 aulas de 60 plazas, 4 aulas de 40 plazas, sala de estudio de 196 plazas, sala de lectura de 110 plazas, hemeroteca de 24 plazas, salón de actos de 272 plazas, 70 despachos y dos conserjes)¹⁸⁴ y tomamos el valor de 12,5 l/s por persona recomendado actualmente, obtenemos un caudal máximo de 29675 l/s o lo que es lo mismo 106830 m³/h. También por motivos relacionados con el COVID-19, no se permite el uso de recuperadores de tipo rotativo ya que estos producen fugas debido a las cuales el aire viciado se mezcla parcialmente con el aire limpio¹⁸⁵.

Descripción de un posible nuevo sistema de ventilación:

A la hora de pensar cómo podría ser el nuevo sistema de ventilación me planteé la generación de un sistema unitario, pero visto el caudal máximo que debería hacer frente (106830 m³/h) sería necesario la colocación de varios recuperadores, por lo que el sistema se puede fragmentar. Además, tras consultar varios catálogos, el caudal máximo que es capaz de utilizar un recuperador estático es de 10,000 m³/h, a no ser que este se encuentre en el interior de una

¹⁸³ Ribé Torrijano, «Estudio de la mejora de la eficiencia energética de la ventilación en sistemas de climatización con el uso de recuperadores de calor. Tesis Doctoral».

¹⁸⁴ Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria descriptiva del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

¹⁸⁵ Fuentes García, «Propuesta de modificación en el diseño de los sistemas de ventilación y climatización en ambulatorios para permitir la contención primaria de enfermos por COVID-19. Trabajo Fin de Máster».

Unidad de Tratamiento de Aire, que alcanzan valores más elevados, aproximándose a los mostrados en la tabla 20.^{186 187 188}

Puestos a generar un sistema fragmentado, se podría plantear utilizar un recuperador por cada climatizadora, uno por cada aula, aprovechando así las instalaciones previas (conductos huecos de las aulas) y generar un sistema unitario para los despachos. De esta forma necesitaríamos:

Ubicación	Nº de zonas	Personas por zona	Caudal necesario (m3/h)	Recuperador escogido	Caudal admisible	Rendimiento	Precio €
Clima. 1 sala estudios	1	196	8820	RCE 90N	9000	74%	16362
Clima. 2. Sala lectura hemeroteca	1	134	6030	RCE 68N	6800	76%	13236
Clima 3. Salón de actos	1	272	12240	2x RCE 68N	13600	76%	26472
Aulas T1	2	160	7200	RCE 90N	9000	74%	16362
Aulas T2	8	130	5850	RCE 68N	6800	76%	13236
Aulas T3	3	60	2700	RCE 34N	3400	78%	8485
Aulas T6	4	40	1800	RCE18N	1800	80%	6256

Tabla 21:Recuperadores necesarios para nuevo sistema de ventilación. Fuente: Elaboración propia

Siendo consciente que solo estoy teniendo en cuenta el precio del recuperador, que faltaría las canalizaciones necesarias, la mano de obra y otros factores que encarecen la obra, el precio muy aproximado del nuevo sistema de ventilación superaría los 272.000 € que, si le añadimos el 6 % de beneficio industrial y un 13 % de gastos generales, obteniendo así el presupuesto de ejecución por contrata que sería de unos 323.680 €. Que, si le añadimos el 21 % de IVA quedaría un presupuesto total de unos 391.652 €.

Si consideramos un rendimiento generalizado del 75%, y teniendo en cuenta que en el apartado 11 llegábamos a la conclusión de que la ventilación suponía un 40% de las pérdidas totales del edificio, quiere decir que se produciría un ahorro de 100.955 kWh lo que supone un ahorro anual de 8199€. La inversión sería recuperada en unos 50 años.

186 Borealis energía térmica, «Catálogo Unidades de tratamiento de aire y recuperadores de energía».

187 Soler & Palau, «Catálogo de Recuperadores de Calor de Alta Eficiencia Configurables. Serie CADB/T-HE-ECOWATT».

188 BIKAT, «Catálogo de equipos y componentes 2022».

17. Estrategia 4: Iluminación

Como se puede ver en la gráfica 4, el consumo producido por la climatización supone el 50% del consumo total, luego, existen otros elementos ajenos a la climatización que están produciendo gran consumo.

Cuando realicé mi visita junto al Jefe de Mantenimiento del Campus Rio Ebro, D. Cándido Gastón, me confirmó que, a parte de la climatización, los únicos elementos que consumen energía son la iluminación y la fuerza (equipos, como ordenadores y proyectores, que se conectan a la red eléctrica).

También me comentó que pese a tener tanta superficie acristalada, la iluminación artificial permanecía encendida durante todo el día, ya que la luz que accede por las ventanas no genera la iluminación interior suficiente como para poder realizar cómodamente las diferentes actividades.

Por último, que la gran mayoría de las luminarias son halógenos metálicos. Están realizando una campaña paulatina por sustituirlas y por nuevas luminarias led, pero está siendo un proceso muy lento. Hasta el momento se han sustituido tan solo algunas de las piezas del pasillo de planta baja.

Cuando esta labor se realice por completo, también se notará un descenso considerable en el consumo energético del edificio, ya que para conseguir los mismos niveles se requiere la mitad de potencia.¹⁸⁹



Ilustración 96. Fotografía del pasillo de planta baja. Fuente: Elaboración propia

En la imagen anterior se muestra una hilera de luminarias led en el lado derecho del pasillo y dos líneas de luminarias halógenas.

¹⁸⁹ bgenostore, «Equivalencias LED vs iluminación tradicional».

18. Conclusión

La preocupación por el consumo energético de los edificios y por generar un proceso de reducción de gasto de recursos naturales comenzó con la llamada “crisis del petróleo” de 1973 al 1979 que dejó en evidencia la gran dependencia de las sociedades modernas a los combustibles fósiles. Desde entonces se han ido redactando distintas Directivas Europeas, con su consecuente aplicación a la normativa española, que marcan la hoja de ruta a seguir con objetivos a corto, medio y largo plazo (2020,2030,2050).

En España estos objetivos se han ido marcando a través del Documento Básico de Ahorro de Energía del Código técnico de la edificación, DB_HE_CTE, y sus sucesivas modificaciones, desde 2006 hasta 2019. Antes del Código Técnico existía la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79). El DB_HE_2019 define lo que sería un Edificio de Consumo de Energía casi Nula (aquel que cumple las exigencias establecidas en lo referente a limitación de consumo energético para edificios de nueva construcción) y ofrece, entre otros, los parámetros mínimos de consumo máximo de energía no renovable y de energía primaria total, así como los valores máximos de transmitancia y permeabilidad al aire de la envolvente térmica.

La Universidad de Zaragoza es un organismo concienciado en materia de sostenibilidad desde hace muchos años. Es por ello que aboga por la implantación de una serie de medidas que supongan la reducción del consumo energético de los edificios. Es importante analizar individualmente cada uno de los edificios para no solo conocer no solo el motivo de su consumo sino para saber cómo se podría mejorar y si sería rentable hacerlo.

En este documento se estudia el Edificio Lorenzo Normante, perteneciente a la Facultad de Economía y Empresa de la Universidad de Zaragoza y que está ubicado en el Campus Río Ebro. Este edificio fue diseñado por los arquitectos D. Luis Franco, D. Mariano Pemán y D. Basilio Tobías en el año 1998 y fue inaugurado en el año 2003.

El edificio toma forma de ‘L’, agrupando sus funciones docentes en un ala (las aulas en la cara sur, que asciende hasta la tercera planta; y biblioteca y salón de actos que toman la fachada norte y suben dos plantas) y los despachos en la otra ala de cuatro plantas.

El Edificio Lorenzo Normante es uno de los edificios que menos consumo eléctrico total genera dentro de la Universidad de Zaragoza, y el que menos si hablamos del Campus Río Ebro. Sin embargo, cuando tenemos en cuenta la superficie útil de los edificios, el Edificio Lorenzo Normante sube posiciones teniendo un consumo de 84,7 kWh/m², superando la media de las universidades españolas (50-70 kWh/m²).

En este edificio hay implantado un sistema de gestión de servicios de mantenimiento llamado SCADA que se encarga de recopilar información sobre el consumo energético de los edificios. Gracias a los datos obtenidos a través de él sabemos que se produce picos de consumo al inicio de cada día laboral debido a la puesta en marcha de las máquinas de climatización y que durante los días no lectivos el consumo no es nulo, debido a la iluminación exterior nocturna. También nos indica que, del consumo total, solo el 50%, aproximadamente, se debe a la climatización. El resto se reparte entre iluminación y fuerza.

Además, gracias a las facturas facilitadas por la Oficina Verde, conocemos el consumo anual total del edificio (655.423 kWh) y mensual, comprobando que los meses de mayor consumo son

enero y febrero y los de menor consumo abril, mayo y agosto (por el cierre energético producido en la segunda mitad de mes).

En un edificio hay diversos modos de pérdida de calor. El porcentaje de pérdida por ventilación oscila entre el 20% y el 50%. Debido al tamaño del edificio y a que las transmitancias de la envolvente son bastante buenas, considero que el porcentaje de pérdida de calor por ventilación serán de en torno al 40%. Los puentes térmicos asumen el 23% y el 37% restante va destinado a la transmitancia de la envolvente: muros (40%), suelos (6%), ventanas (24%), infiltraciones de aire (19%) cubierta (11%).

Si nos centramos en la envolvente térmica vemos como la mayoría de los cerramientos, a excepción del lucernario y el forjado que separa la planta baja y el sótano, pese a ser un edificio construido a comienzos de los años 2000, cumple con las transmitancias exigidas por el DB-HE 1 del CTE 2019. Sin embargo, no cumplen con las transmitancias aconsejadas en el Anejo E.

Existen varias formas de mejorar la transmitancia térmica de los cerramientos. La primera de las opciones diferencia es si se desea realizar una intervención por el interior o por el exterior, y dentro de estas últimas si se hace con un sistema SATE o con una fachada ventilada. Puesto que se consiguen mejores resultados térmicos, analizamos con más detalle los sistemas de aislamiento por el exterior, concluyendo que en invierno funciona mejor la implantación de un sistema SATE y en verano un sistema de fachada ventilada. Puesto que nuestro mayor consumo se produce en invierno, se toma la opción de fachada SATE para realizar un cálculo aproximado de presupuesto total de la obra (801.457€) y un ahorro en el consumo (58.905kWh, que suponen unos 979€/año). De esta manera concluimos que es una intervención que no sería rentable ya que se necesitan más de 800 años para amortizarla.

Es necesario hablar de la gran presencia de puentes térmicos que posee este edificio. Existen en el contorno de los huecos, en frentes de forjado y muros de hormigón que sobresalen de la línea de fachada, en la cubierta (bien cuando se forma con pretil o bien cuando se retranquean los elementos no estructurales), los encuentros de voladizos con la fachada y los aireadores de las ventanas. Si consiguiésemos resolver todos ellos, se conseguiría un ahorro anual de 77.398 kWh

Si nos centramos en el sistema de climatización vemos que el edificio funciona con una bomba de calor con apoyo geotérmico que produce agua caliente o fría y lo distribuye a una de las 4 climatizadoras (Clim1, destinado para la sala de estudio y el departamento de fondos; Clim4, para la sala de lectura y préstamo; Clim2, cuya función es climatizar el salón de actos y Clim3, encargada de la cafetería) o bien a los distintos fan-coils distribuidos por las aulas y despachos.

En cuanto a la ventilación de este edificio no se resuelve de una forma controlada, si no que se deja a manos de los usuarios basándola en la apertura de ventanas, o aireadores, cuando estos lo consideren necesario. Salvo en las aulas, donde tampoco tiene un control, pero existe un intercambio continuo entre el aire interior y exterior por medio de un tubo hueco abierto. La ventilación, y aún más hoy en día cuando debido al COVID-19 se busca que los espacios educativos cumplan con las condiciones de IDA 2 y aporten un caudal mínimo de aire exterior de 12.5l/s por persona. Esto supondría que si consideramos la ocupación máxima del Edificio Lorenzo Normante se produciría un caudal continuo de 106.830 m³/h. Para que esto no suponga una pérdida energética tan elevada se puede recurrir a sistemas de ventilación mecánica con free-cooling e intercambiador de calor.

Planteo un nuevo sistema basado en la reutilización de los elementos existentes: añadir un recuperador a cada una de las climatizadoras; colocar uno en cada aula, aprovechando así las instalaciones previas (conductos huecos que conectan el interior y el exterior) y generar un sistema unitario para los despachos.

Tras consultar varios catálogos, y siendo consciente que tan solo se está teniendo en cuenta el precio del recuperador, que faltarían muchos otros factores, se obtendría un presupuesto aproximado de 391.652€. El ahorro energético que este sistema produciría sería de unos 100.955 kWh, lo que supondría un ahorro anual de unos 8.199€. Luego la inversión se amortizaría en unos 50 años.

Por último, aunque no se trate de un factor arquitectónico, teniendo en cuenta que el consumo de la climatización es el 50% del consumo total, y que el resto de elementos que completan el consumo es la iluminación y la fuerza (de pequeños equipos, ordenadores en su mayoría) es importante mencionar que la sustitución de las luminarias halógenas que se utilizan en la actualidad por unas de tipo led reducirían también notablemente el consumo eléctrico, sobre todo teniendo en cuenta que se usan de forma continuada tanto de día como de noche.

En resumen, si se plantease realizar una reforma energética de este edificio, los esfuerzos deberían ir dirigidos principalmente a generar un sistema de ventilación con recuperadores de calor y luego a solventar los puentes térmicos, no merece la pena prestarle atención al resto de cerramientos opacos. Y como estrategia adicional, la sustitución de luminarias halógenas por led.

BIBLIOGRAFÍA

- ACERALIA CONSTRUCCION, Grupo Arcelor. «Panel Perfrisa. Paneles fachada», s. f.
- ATECYR. «Guía de ATECYR de recomendaciones de operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio por COVID-19», s. f.
- . «Posicionamiento de ATECYR sobre las medidas a realizar en la operación y mantenimiento de los sistemas de climatización y ventilación para edificios de uso no sanitario para la prevención del contagio por COVID-19», s. f.
- bgenostore. «Equivalencias LED vs iluminación tradicional», s. f.
- BIKAT. «Catálogo de equipos y componentes 2022», s. f.
- Borealis energía térmica. «Catálogo Unidades de tratamiento de aire y recuperadores de energía», s. f.
- C. A. Roulet, F. D. Heidt, F. Foradini, y M. C. Pibiri. «Real heat recovery with air handling units.», 2001.
- C.A. Balaras, K. Drousta, A.A. Argiriou, y D.N. Asimakapoulos. «Potencial for energy conservation in apartment buildings», s. f.
- Carmen Alonso Ruiz-Rivas. «Rehabilitación energética de fachadas: propuesta metodológica para la evaluación de soluciones innovadoras, basándose en el diagnóstico de viviendas sociales construidas entre 1940 y 1980.», 2015.
- Castro Vázquez, José Manuel. «La rehabilitación energética en la arquitectura escolar. Hacia el edificio rehabilitado nZEB.» Universidade Da Coruña, 2017.
- «Catálogo de Elementos Constructivos CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf». Accedido 11 de octubre de 2021. http://anape.es/pdf/Catalogo%20de%20Elementos%20Constructivos%20CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf.
- «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía». Accedido 27 de octubre de 2021. <https://www.codigotecnico.org/pdf/Documentos/HE/DBHE.pdf>.
- Comisión Europea. «EUROPA 2020 Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador», 3 de marzo de 2010.
- Consejo de Dirección Universidad Zaragoza. «Plan de racionalización de la gestión económica de la Universidad de Zaragoza (Aprobado en el consejo de Dirección 29-11-2016)», 29 de noviembre de 2016.

- «Consumo energético de la UZ (electricidad y gas) | Oficina verde». Accedido 3 de septiembre de 2021. <https://oficinaverde.unizar.es/consumo-energ%C3%A9tico-de-la-uz-electricidad-y-gas>.
- Cordero de la Rosa, Silvia. «Evaluación del efecto del bypass en recuperadores de calor sobre el consumo energético de ventilación. Caso de estudio. Trabajo Fin de Máster.», s. f.
- De Isabel García, Juan Antonio. «La geotermia de baja entalpía para climatización», 2015. http://web.upcomillas.es/catedras/crm/descargas/2014-2015/Libro_jornada_usosagua.pdf.
- Del Águila, Alfonso. «Paneles de fachada prefabricados de G.R.C.» *RE. Revista de Edificación*, 1988. https://dadun.unav.edu/bitstream/10171/16143/1/RE_Vol%2002_02.pdf.
- «Directiva 93/76/CEE del consejo de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)», s. f.
- «Directiva 2001/77/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 27 de septiembre de 2001, relativa a la promoción de la electricidad generada a partir de fuentes de energía renovables en el mercado interior de la electricidad», s. f.
- «Directiva 2002/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios», s. f.
- «Directiva 2003/30/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 8 de mayo de 2003/30/CE, relativa al fomento del uso de biocarburantes u otros combustibles renovables den el transporte», s. f.
- «Directiva 2006/32/CE del parlamento europeo y del consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo», s. f.
- «Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009 relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables y por la que se modifican y se derogan las directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE», s. f.
- «Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios», s. f.
- «Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/31/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE», s. f.
- «Directiva 2018/844/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 30 de mayo de 2018 por la que se modifica la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios y la Directiva 2012/27/UE relativa a la eficiencia energética”», s. f.
- «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de Energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/3 Puentes térmicos.», enero de 2014.

- Duque, Fernando M Tabernero. «La arquitectura bioclimática y el cambio climático», 2010.
- ECODES. «La Universidad de Zaragoza ante la agenda 2030», mayo de 2018.
- European Commission. «Com(2016) 860 final. Communication from the commission. Clean energy for all europeans», s. f.
- Franco, Luis, Basilio Tobías, y Mariano Pemán. «Memoria descriptiva del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza», 1998.
- . «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza», 1998.
- . «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza», octubre de 1998.
- Fuentes García, Javier. «Propuesta de modificación en el diseño de los sistemas de ventilación y climatización en ambulatorios para permitir la contención primaria de enfermos por COVID-19. Trabajo Fin de Máster», s. f.
- Gabinete del rector Universidad Zaragoza. «Plan de racionalización de la gestión económica de la Universidad de Zaragoza (Aprobado en el Consejo de Dirección 31-10-2012)», 31 de octubre de 2012.
- Gobierno de España. «CTE Código técnico de la edificación. Ahorro de energía». Accedido 31 de octubre de 2021.
<https://www.codigotecnico.org/DocumentosCTE/AhorroEnergia.html>.
- Gregório Atem, Camila. «Tesis doctoral. Fachadas ventiladas: hacia un diseño eficiente en Brasil.», septiembre de 2016.
- IDAE. «Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios», abril de 2012.
- Illomets, Simo, Kalle Kuusk, Leena Paap, Endrik Arumägi, y Targo Kalamees. «Impact of linear thermal bridges on thermal transmittance of renovated apartment buildings», 2016.
- INCLIZA S.L. «Proyecto de climatización para la Universidad de Zaragoza. Escuela Universitaria de Estudios Empresariales», octubre de 2002.
- ISAVAL. «Catalogo técnico 2020 Rhonatherm», 2020.
- M. W. Liddament, y M. Orme. «Energy and ventilation», s. f.
- «Manual trasdosados Placo Saint-Gobain.pdf». Accedido 11 de octubre de 2021.
https://www.placo.es/sites/gypsum.eeap.placo.es/files/manual_pyl_09_trasdosados.pdf.
- Medrano, Marc, Josep Maria Martí, Lúcia Rincón, Gerard Mor, Jordi Cipriano, y Mohammed Farid. «Assessing the Nearly Zero-Energy Building Gap in University Campuses with a

Feature Extraction Methodology Applied to a Case Study in Spain». *International Journal of Energy and Environmental Engineering* 9, n.º 3 (1 de septiembre de 2018): 227-47. <https://doi.org/10.1007/s40095-018-0264-x>.

Minguillón, María Cruz, Xavier Querol, José Manuel Felisi, y Tomás Garrido. «Guía para ventilación en aulas. Instituto de Diagnóstico Ambiental y Estudios del Agua, IDAEA-CSIC Mesura», s. f.

Ministerio de Fomento. «Código Técnico de la Edificación. Documento Básico HE. Ahorro de energía», 20 de diciembre de 2019.

———. «Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España en desarrollo del artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE.», junio de 2014.

———. «Orden FOM/588/2017, de 15 de junio, por la que se modifican el Documento Básico DB-HE “Ahorro de energía” y el Documento Básico DB-HS “Salubridad”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.», s. f.

———. «Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “Ahorro de Energía”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo.», s. f.

———. «Real Decreto 732/2019, de 20 de diciembre, por el que se modifica el Código Técnico de la Edificación, aprobado por el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo», s. f.

Ministerio de la Presidencia, Relaciones con las Cortes y Memoria Democrática. «Real Decreto 178/2021, de 23 de marzo, por el que se modifica el Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios.», 23 de marzo de 2021.

Ministerio de Transporte, Movilidad y Agenda Urbana. «Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía del Código Técnico de la Edificación. DA DB-HE/1 Cálculo de parámetros característicos de la envolvente.», enero de 2020.

Ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. «Código Técnico de la Edificación. Guía de aplicación DB HE 2019», s. f.

ministerio de transportes, movilidad y agenda urbana. «ERESEE 2020. Actualización 2020 de la Estrategia a largo plazo para la rehabilitación energética en el sector de la edificación en España.», junio de 2020.

Ministerio de Vivienda. «Corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.», s. f.

———. «Real Decreto 1371/2007, de 19 de octubre, por el que se aprueba el documento básico “DB-HR Protección frente al ruido” del Código Técnico de la Edificación y se modifica el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.», s. f.

- Ministerio para la Transición Ecológica. «Resolución de 10 de enero de 2020, de la Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental, por la que se publica el Programa Nacional de Control de la Contaminación Atmosférica.», 10 de enero de 2020.
- Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. «Resolución de 30 de diciembre de 2020, de la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental, por la que se formula la declaración ambiental estratégica del Plan Nacional Integrado de Energía y Clima 2021-2030.», s. f.
- Monforte, Pablo Adiego. «Trabajo Fin de Grado: Estudio de la eficiencia energética en edificios UNIZAR a través de datos suministrados por la oficina verde 2015-2018.», s. f.
- Naciones Unidas. «Protocolo de Kyoto de la convención marco de las Naciones Unidas sobre el cambio climático», 11 de diciembre de 1998.
- ARQUITECTURA EFICIENTE. «PÉRDIDAS DE CALOR EN LA EDIFICACIÓN», 17 de marzo de 2014. <https://pedrojhernandez.com/2014/03/17/perdidas-de-calor-en-la-edificacion/>.
- «Plan de racionalización de la gestión económica | Universidad de Zaragoza». Accedido 15 de junio de 2021. <http://www.unizar.es/institucion/plan-de-racionalizacion-de-la-gestion-economica>.
- «Plan Estratégico 2002-2005». Accedido 1 de noviembre de 2021. http://www.unizar.es/plan_estrategico/pdf/plan_estrategico.pdf.
- Presidencia del Gobierno. «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.», 6 de julio de 1979.
- «Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.», s. f.
- «Reglamento Delegado (UE) 2020/2155 de la Comisión de 14 de octubre de 2020 por el que se completa la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo mediante el establecimiento de un régimen común voluntario de la Unión Europea para la valoración del grado de preparación para aplicaciones inteligentes de los edificios», s. f.
- «Reglamento (UE) 2018/1999 del Parlamento Europeo y del Consejo de 11 de diciembre de 2018 sobre la gobernanza de la Unión de la Energía y de la Acción por el Clima, y por el que se modifican los Reglamentos (CE) n.º 663/2009 y (CE) n.º 715/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, las Directiva 94/22/CE, 98/70/CE, 2009/31/CE, 2009/73/CE, 2010/31/UE, 2012/27/UE y 2013/30/UE del Parlamento Europeo y del Consejo y las Directivas 2009/119/CE y (UE) 2015/652 del Consejo, y se deroga el Reglamento (UE) n.º 525/2013 del Parlamento Europeo y del Consejo», s. f.
- Ribé Torrijano, Orcar. «Estudio de la mejora de la eficiencia energética de la ventilación en sistemas de climatización con el uso de recuperadores de calor. Tesis Doctoral», s. f.
- «Sede Electrónica del Catastro - Consulta y certifi.html». Accedido 6 de agosto de 2021. <https://www1.sedecatastro.gob.es/CYCBienInmueble/OVCConCiud.aspx?UrbRus=U&R efC=6270914XM7167A0001YE&esBice=&RCBice1=&RCBice2=&DenoBice=&from=OVC>

Busqueda&pest=rc&RCCompleta=6270914XM7167A0001YE&final=&del=50&mun=900

Soler & Palau. «Catálogo de Recuperadores de Calor de Alta Eficiencia Configurables. Serie CADB/T-HE-ECOWATT», s. f.

Comprar Aislamiento - TIENDA SATE. «Tienda online experta en SATE - Sistema de Aislamiento Térmico Exterior». Accedido 20 de noviembre de 2021. <https://www.compraraislamiento.com/>.

Universida de Zaragoza. «Aportando valor para alcanzar los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2011-2030.», marzo de 2018.

Universidad de Zaragoza. «Informe de evaluación de calidad y de los resultados del aprendizaje - Graduado en Finanzas y Contabilidad», s. f.

«Universidad de Zaragoza. Oficina Verde». Accedido 1 de noviembre de 2021. <https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/quien-es-quien/universidad-zaragoza.aspx>.

UNIZAR. «Publicación de las listas de admitidos y reclamaciones». Accedido 24 de noviembre de 2021. <https://academico.unizar.es/acceso-admision-grado/admision/publi>.

Vásquez, Claudio, y Alejandro Prieto. «La fachada ventilada». *Cuadernillo Arq. Nº2i. indd 6-7*, s. f.

Vicioso Palacín, Clara. «Trabajo Fin de Grado: Análisis de metodologías para el estudio de la rehabilitación de edificios universitarios en UNIZAR. Caso de estudio Edificio Lorenzo Normante.», junio de 2021.

«Zaragoza | Unidad Técnica de Construcciones y Energía». Accedido 5 de agosto de 2021. <https://utce.unizar.es/zaragoza>.

Zaragoza, Universidad De. «RESOLUCIÓN de 5 de mayo de 2020, del Rector en funciones de la Universidad de Zaragoza, por la que se modifica la Resolución de 18 de diciembre de 2019, del Rector de la Universidad de Zaragoza, por la que se establece, a efectos de cómputo de plazos, el calendario de días inhábiles en el ámbito de la Universidad de Zaragoza para el año 2020.», s. f., 1.

ANEXO 1: Cálculo de las transmitancias térmicas según NBE-CT-79

Antes de comenzar con la definición térmica de los elementos constructivos me gustaría presentar la fórmula básica de cálculo del coeficiente de transmisión de calor K de cerramientos que se contempla en el anexo 2 de la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79):¹⁹⁰

$$\frac{1}{K} = \frac{1}{h_i} + \frac{L}{\lambda} + \frac{1}{h_e}$$

Donde λ es la conductividad térmica de la capa, L es el espesor y h_e y h_i son las resistencias térmicas superficiales interior (h_i) y exterior (h_e) expresadas en m^2K/W que se obtienen de la siguiente tabla.¹⁹¹

Posición de cerramiento y sentido del flujo del calor	Separación con espacio exterior o local abierto		Separación con local, desván o cámara de aire	
	$1/h_i$ (m^2K/W)	$1/h_e$ (m^2K/W)	$1/h_i$ (m^2K/W)	$1/h_e$ (m^2K/W)
Cerramientos verticales y flujo horizontal 	0,11	0,06	0,11	0,11
Cerramiento horizontal y flujo ascendente 	0,09	0,05	0,09	0,09
Cerramiento horizontal y flujo descendente 	0,17	0,05	0,17	0,17

Tabla 22: Extracto de la Tabla 2.1 del NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

Cuando para calcular la transmitancia térmica de un elemento concreto se necesite algún dato adicional el NBE-CT-79 o su modo de cálculo sea diferente, se indicará en el apartado de cálculo de este.

¹⁹⁰ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

¹⁹¹ Presidencia del Gobierno.

Los coeficientes de conductividad térmica (λ) se extraen en su mayoría de la Norma Básica de Edificación sobre Condiciones Térmicas en los Edificios (NBE-CT-79).¹⁹²

Material	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Rocas y suelos naturales		
Rocas compactas	2500-3000	3,50
Grava rodada o de machaqueo	1700	0,81
Pastas, morteros y hormigones		
Mortero de cemento	2000	1,40
Hormigón armado normal	2400	1,63
hormigón celular con áridos silíceos	1000	0,67
Metales		
Lamina aluminio	2700	204,00
Panel de chapa de acero galvanizado	7850	58
Materiales bituminosos		
Lamina bituminosa	1100	0,19
Asfalto	2100	0,70
Materiales aislantes		
Poliestireno expandido (tipo IV)	15	0,034
Poliestireno extruido	33	0,033
Espuma de poliuretano	35	0,023
Placas o paneles		
Trasdosado de cartón-yeso	900	0,18

Tabla 23: Densidad y conductividad térmica de los materiales según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

Aquellos materiales que no he encontrado en este documento, los he ido a buscar al Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación.¹⁹³

	Densidad (kg/m ³)	Resistencia térmica (m ² K/W)	Espesor (mm)
Catálogo de elementos constructivos del C.T.E.			
Forjado de losa alveolar (30+5)	1444	0,21	350
Bloque cerámico de arcilla aligerada	1090	0,57	240
	1080	0,44	190

Tabla 24: Densidad, resistencia térmica y espesor de los materiales según CAT-EC. Fuente: Elaboración propia

¹⁹² Presidencia del Gobierno.

¹⁹³ «Catálogo de Elementos Constructivos CAT-EC-v06.3_marzo_10.pdf».

Y los materiales más específicos, que no aparecen en ninguno de estos dos documentos, los he buscado en artículos de revistas (RE. Revista edificación "paneles de fachada prefabricada de G.R.C"¹⁹⁴) o casas comerciales (Manual de trasdosado de Pladur¹⁹⁵).

	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
RE. Revista edificación "paneles de fachada prefabricada de G.R.C"		
G.R.C	1700-2100	0.6

Tabla 25: Densidad y resistencia térmica del G.R.C. según RE. Revista edificación. Fuente: elaboración propia

	Densidad (kg/m ³)	Conductividad térmica λ (W/mK)
Manual de trasdosado de Pladur		
Trasdosado de pladur-metal	45	0,036

Tabla 26: Densidad y conductividad térmica del Pladur-metas según casa comercial Pladur. Fuente: Elaboración propia

f. Elementos en contacto con el terreno

I. Forjado sanitario

Para calcular la transmitancia térmica de un forjado sanitario se hace considerando la cámara de aire como un local. Y cuando esta es $e \leq 1\text{m}$, entonces se puede aplicar un coeficiente reductor en función de cuan ventilada sea. Puesto que yo no conozco esos datos, he optado por no aplicar ningún coeficiente reductor.¹⁹⁶

K Forjado Sanitario			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
1/h _i			0,17
Pavimento de terrazo microgramo granítico 60x60	3,5	0,03	0,01
Capa de mortero	1,4	0,04	0,03
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado		0,35	0,21
1/h _e			0,17
	R _{total} (m ² K/W)		0,59
	K (W/m ² K)		1,70

Tabla 27: Cálculo de K del forjado sanitario según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

¹⁹⁴ Del Águila, «Paneles de fachada prefabricados de G.R.C.»

¹⁹⁵ «Manual trasdosados Placo Saint-Gobain.pdf».

¹⁹⁶ Presidencia del Gobierno, «Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la norma básica de edificación NBE-CT-79, sobre condiciones térmicas en los edificios.»

g. Fachadas

IV. Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND

Para calcular un cerramiento con cámara ventilada, lo primero que hay que hacer es diferenciar si se trata de una cámara débilmente ventilada, medianamente ventilada o muy ventilada. Para ello necesitamos dos datos: La longitud del cerramiento L, expresada en m (42.3m) y la sección total de los orificios de ventilación S, expresada en cm² (83790 cm²).¹⁹⁷

$$\frac{S}{L} = \frac{83790}{42.3} = 1980 \text{ cm}^2/\text{m}$$

Puesto que S/L=1930 cm²/m > 500 cm²/m se considera un cerramiento con cámara de aire muy ventilada.¹⁹⁸

La forma de calcular su transmitancia térmica sería considerando inexistente el cerramiento exterior a la cámara de aire y tomando 1/h_s=0.20 m²K/W como suma de las resistencias térmica superficiales.¹⁹⁹

Fachadas revestidas por bandejas de ALUCOBOND			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
Lamina aluminio		0,005	
Poliestireno expandido		0,03	
Lamina aluminio		0,005	
Cámara de aire		0,117	
1/h _s			0,2
Poliestireno extruido	0,033	0,04	1,21
Muro fábrica de bloque de termoarcilla		0,19	0,44
Poliestireno expandido	0.033	0.02	0.61
Trasdosado de pladur-metal	0,18	0,029	0,16
R _{total} (m ² K/W)			3.10
K (W/m ² K)			0,382

Tabla 28: Cálculo de K de la fachada con ALUCOBOND según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

¹⁹⁷ Presidencia del Gobierno.

¹⁹⁸ Presidencia del Gobierno.

¹⁹⁹ Presidencia del Gobierno.

V. Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón

Se calcula mediante la forma básica de cálculo explicada al inicio de este anexo

Fachadas de G.R.C sobre pantalla de hormigón			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m²K/W)
1/h _e			0,06
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Poliestireno expandido	0,034	0,08	2,35
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Pantalla de hormigón armado	1,63	0,2	0,12
Poliestireno expandido	0,034	0,02	0,59
Trasdosado de pladur-metal	0,18	0,029	0,16
1/h _i			0,11
	R _{total} (m²K/W)		3,43
	K (W/m²K)		0,292

Tabla 29: Cálculo de K de la fachada de GRG sobre pantalla de hormigón según NBE-CT-79.

Fuente: Elaboración propia

VI. Fachada de G.R.C sobre paredes de termoarcilla

Se calcula mediante la forma base explicada previamente, salvo por la cámara de aire, que, al tratarse de una cámara de aire poco ventilada, el valor de su resistencia térmica se extrae de la siguiente tabla: ²⁰⁰

Resistencia térmica de la cámara R _c en m²K/W					
Posición de la cámara y sentido del flujo del calor	Espesor de la cámara (mm)				
	10	20	50	100	≥150
Cerramientos verticales y flujo horizontal	0,14	0,16	0,18	0,17	0,16
Cerramiento horizontal y flujo ascendente	0,14	0,15	0,16	0,16	0,16
Cerramiento horizontal y flujo descendente	0,15	0,18	0,21	0,21	0,21

Tabla 30: Extracto de la Tabla 2.2 del NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

²⁰⁰ Presidencia del Gobierno.

Fachadas de G.R.C sobre paredes de termoarcilla			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
1/h _e			0,06
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Poliestireno expandido	0,034	0,08	2,35
G.R.C	0,60	0,01	0,02
Cámara de aire		0,06	0,14
Muro fábrica de bloque de termoarcilla		0,24	0,57
Poliestireno expandido	0,034	0,02	0,59
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
1/h _i			0,11
R total (m ² K/W)			4,02
K (W/m ² K)			0,249

Tabla 31: Cálculo de K de la fachada de GRG sobre pared de termoarcilla según NBE-CT-79.

Fuente: Elaboración propia

h. Forjado entre sótano y planta baja

Según la memoria técnica del proyecto este cerramiento tiene un coeficiente de transmitancia $K=1.235 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Se calcula mediante la forma básica de cálculo explicada previamente, considerando la cámara de aire del falso techo como cámara de aire no ventilada de 20cm, lo que según la tabla 2.2 del NBE-CT-79 tendría una resistencia térmica de $0.18 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Forjado sótano - planta baja			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
1/h _i			0,17
Pavimento de terrazo microgramo granítico 60x60	3,5	0,03	0,01
Capa de mortero	1,4	0,04	0,03
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado H-250 AEH-500 N		0,35	0,21
Cámara de aire no ventilada		20	0,18
Trasdosado de cartón-yeso	0,18	0,029	0,16
1/h _i			0,17
R _{total} (m ² K/W)			0,93
U (W/m ² K)			1,08

Tabla 32: Cálculo de K del forjado que separa el sótano y la planta baja según NBE-CT-79.

Fuente: Elaboración propia

i. Cubierta

Se calcula mediante la forma básica de cálculo explicada previamente, sin tener en cuenta el falso techo.

Cubierta			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
1/h _e			0,05
Canto rodado	0,81	0,05	0,06
Poliestireno extruido	0,033	0,06	1,82
Poliestireno extruido	0,033	0,06	1,82
Lamina impermeable	0,19	0,002	0,01
Imprimación asfáltica	0,90	0,001	0,00
Formación de pendiente de hormigón celular	0,67	0,05	0,07
Forjado de losa alveolar prefabricada de hormigón armado		0,35	0,21
1/h _i			0,09
R _{total} (m ² K/W)			4,13
K (W/m ² K)			0,242

Tabla 33: Cálculo de K de la cubierta según NBE-CT-79. Fuente: Elaboración propia

j. Carpinterías exteriores

k. Lucernario - muro (parte ciega)

En este caso no tengo datos de proyecto con los que comparar mis resultados, ya que estos no aparecen en la redacción del proyecto.

Se calcula mediante la forma básica de cálculo explicada previamente.

Lucernario – muro (parte ciega)			
	λ (W/mK)	e (m)	R (m ² K/W)
1/h _i			0,11
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
Espuma de poliuretano	0,023	0,06	2.61
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
1/h _e			0,06
R _{total} (m ² K/W)			2.78
U (W/m ² K)			0,36

Tabla 34: Cálculo de K del lucernario – muro (parte ciega) según NBE-CT-79.

Fuente: Elaboración propia

V. Lucernario - cubierta (parte ciega)

Según la memoria técnica del proyecto este cerramiento tiene un coeficiente de transmitancia $K=0.301 \text{ W/m}^2\text{K}$.²⁰¹

Se calcula mediante la forma base explicada previamente.

Lucernario – cubierta (parte ciega)			
	$\lambda \text{ (W/mK)}$	$e \text{ (m)}$	$R \text{ (m}^2\text{K/W)}$
$1/h_i$			0,09
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
Espuma de poliuretano	0,023	0,06	2.61
Panel de chapa de acero galvanizado	58	0,0008	0,00
$1/h_e$			0,05
$R_{\text{total}} \text{ (m}^2\text{K/W)}$			2.75
$U \text{ (W/m}^2\text{K)}$			0,36

Tabla 35: Cálculo de K del lucernario – cubierta (parte ciega) según NBE-CT-79.

Fuente: Elaboración propia

I. Ventanas

Los datos que conocemos de la ventana son que la transmitancia térmica global de la ventana es de $3.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ y una estanqueidad al aire: Reforzada A3.²⁰² Puesto que no tengo forma de comprobarlo, considero como cierto dichos datos. Teniendo en cuenta que se construyó con la normativa NBE-CT-79, que tenga una estanqueidad al aire reforzada A3 quiere decir que como mínimo, su permeabilidad al aire de $7 \text{ m}^3/\text{hm}^2$ cuando la diferencia de presión del es de 100Pa.

²⁰¹ Franco, Tobías, y Pemán, «Proyecto de instalaciones de climatización, calefacción y ventilación para la Facultad de Empresariales de la Universidad de Zaragoza».

²⁰² Franco, Tobías, y Pemán, «Memoria técnica del Proyecto de Ejecución de la sede de la escuela universitaria de estudios empresariales de la Universidad de Zaragoza».

