



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis de la influencia de la envolvente en la demanda térmica y propuestas de mejora del Cuartel Francisco Moreno mediante simulación con Trnsys.

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Rubén Magadán Tomás

DIRECTORES: Guillermo Lareo Calviño

Miguel Ángel Álvarez Feijoo

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis de la influencia de la envolvente en la demanda térmica
y propuestas de mejora del Cuartel Francisco Moreno mediante
simulación con Trnsys.*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

RESUMEN

Este trabajo tiene como finalidad el análisis de la demanda energética en función de la envolvente térmica (el conjunto de cerramientos y huecos) del cuartel de alumnos Francisco Moreno en la Escuela Naval Militar de Marín.

Para llevar a cabo el estudio, se ha evaluado el nivel de demanda térmica (calefacción) actual, comparándolo con los consumos del año 2015. Para ello, se ha definido un modelo de simulación mediante software SketchUp y Trnsys, y se han propuesto soluciones para la rehabilitación de su envolvente, evaluando la nueva demanda, y la viabilidad de dichas propuestas. Con estos resultados, se ha podido establecer una comparativa entre las distintas soluciones.

Dichas soluciones se han seleccionado por ser las más frecuentemente utilizadas: Aplicación de un Sistema de Aislamiento Térmico Exterior (SATE), insuflación de aislamientos en cámaras de aire de fachadas y cambio de cristalerías de hoja simple por otras de doble hoja más aislantes.

Se ha constatado la importancia de la calidad de la envolvente en la demanda. Este hecho justificaría la tendencia creciente de rehabilitación térmica en un gran número de construcciones existentes del parque edificatorio europeo, así como el cumplimiento de los objetivos planteados en el Plan de Acción 2010 de la Armada.

PALABRAS CLAVE

Rehabilitación de la envolvente térmica, Demanda Energética, Eficiencia energética, Ahorro energético, Trnsys.

AGRADECIMIENTOS

Una vez finalizado este trabajo, que ha estado lleno de complicaciones, llega el momento de evaluar objetivamente las distintas aportaciones de algunas personas e instituciones, sin las cuales, el mismo no hubiera llegado a buen término. Es por ello una gran satisfacción hacer justicia a sus aportaciones, dedicándoles este apartado de agradecimientos.

En primer lugar, quiero agradecer tanto a mis padres, como a mi familia, el constante apoyo que me han dado, no sólo durante el transcurso de este trabajo y de mi carrera, sino a lo largo de toda mi vida.

Deseo también mostrar mi más sincero agradecimiento a los directores de trabajo, sin los cuales, hubiera sido imposible la realización de este trabajo.

Al destino de mantenimiento de la Escuela Naval, especialmente al Capitán de Corbeta Luis Felipe Carrascosa y a la señora Ana M^a López Souto, por su paciencia y su constante disposición a ayudar.

Y finalmente al colegio San Cayetano de Palma de Mallorca, por la excelente formación que me han dado tanto académicamente como en valores.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
1 Introducción	5
2 Objetivos	7
3 Normativa de aplicación	9
4 Importancia de la envolvente térmica en la eficiencia energética	11
5 Antecedentes	13
6 Descripción del edificio: Cuartel Francisco Moreno	17
6.1 Descripción de la construcción.....	18
6.2 Estado actual del edificio	19
7 Fundamentos metodológicos.....	21
7.1 Cálculo de cargas térmicas.....	21
7.2 Software empleado	26
8 Procedimiento de simulación y cálculos.....	27
8.1 Modelado en SketchUp.....	28
8.2 Definición de variables en Trnsys	31
9 Propuesta de alternativas de rehabilitación de envolvente y aplicación	47
9.1 Aislamiento en las cámaras de aire de fachadas exteriores	47
9.2 Sustitución de superficies acristaladas.....	49
10 Resultados	51
10.1 Análisis de la demanda energética actual con TRNSYS	51
10.1.1 Demanda global y validación.....	52
10.1.2 Demanda por zonas.....	54
10.2 Aislamiento fachada con sistema SATE	55
10.3 Análisis de la demanda energética de alternativas con TRNSYS	59
10.3.1 Sistema SATE	59
10.3.2 Aislamiento de cámaras	60
10.3.3 Sustitución de superficies acristalada	61
10.4 Comparativa de demanda según la envolvente	62
11 Estudio económico básico de viabilidad	65
11.1 Sistema SATE	65

11.2 Aislamiento de cámaras	66
11.3 Sustitución de superficies acristaladas.....	66
12 Conclusiones y Lineas futuras.....	67
12.1 Conclusiones	67
12.2 Lineas futuras	68
13 Bibliografía.....	69
14 Anexos	71
Anexo I: Tablas y Factores. Fundamentos Teóricos	73
Anexo II: Planos Planta y alzado del edificio [7].....	79
Anexo III: Imágenes fachadas principales [7].....	83
Anexo IV: Gráficas de Resultados	86
Anexo V: Presupuestos.....	103

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 5-1 Consumos generales zona Atlántico Norte. [5].....	13
Figura 5-2 Consumos según vivienda en Atlántico Norte [5].....	14
Figura 5-3 Etiqueta energética generada por CE3X. [7].....	15
Figura 5-4 Etiqueta energética generada por CE3X. [7].....	16
Figura 6-1 Situación Escuela Naval Marín en la Ría de Pontevedra.....	17
Figura 6-2 Detalle de la Distribución del Cuartel Francisco Moreno.	18
Figura 6-3 Detalle caldera Roca BT 450 y quemadores BAXI TECNO 50. [4].....	19
Figura 8-1 Esquema de procedimientos.....	27
Figura 8-2 Modelo SketchUp definitivo	28
Figura 8-3 Definición de adyacencias	29
Figura 8-4 Detalle de superficie dividida por distintas condiciones de contorno	30
Figura 8-5 Ventana emergencia frente a errores	30
Figura 8-6 Inicio de nuevo proyecto Trnsys	31
Figura 8-7 Resumen general de Metonorm.....	31
Figura 8-8 Pantalla principal de Trnsys	32
Figura 8-9 Pantalla Principal de TrnBuild	33
Figura 8-10 Corrección de la orientación	34
Figura 8-11 WallType Manager. Definición de cerramientos	37
Figura 8-12 Asignación de cerramientos por zona.....	37
Figura 8-13 WindowType manager. Definición de huecos	38
Figura 8-14 Coeficientes de infiltración sugeridos. Fuente ASHRAE Handbook infiltraciones	39
Figura 8-15 Captura de Web Aurea: Cálculo de infiltraciones (Calener)	40
Figura 8-16 Valores de permeabilidad de ventanas	40
Figura 8-17 Resultados de infiltraciones (en base a Calener).....	41
Figura 8-18 Ventana de Inputs	41
Figura 8-19 Definición horarios de ocupación.....	42
Figura 8-22 Detalle iluminación artificial Francisco Moreno.....	43
Figura 8-20 Asignación horarios de ocupación por zonas	43
Figura 8-23 Definición de horarios de calefacción	44
Figura 8-24 Type Ecuación: Conversor KJ/h - kWh.....	45
Figura 8-25 Grafica Trnsys de resultado	46
Figura 9-3 Sistema de insuflación de aislantes en cámaras de aire	47

Figura 9-4 Captura Wall Type Manager: Adición de aislamientos.....	49
Figura 10-1 Gráfica de demanda de calefacción actual.....	52
Figura 10-2 Gráfica comparativa de consumos: Trnsys vs real facturado	53
Figura 9-1 Estructura de sistema SATE	56
Figura 9-2 WallType Manager. Adición de aislante SATE.....	58
Figura 10-3 Resumen de ahorros SATE.....	59
Figura 10-4 Gráfica comparativa: Demanda actual vs demanda SATE.....	59
Figura 10-5 Resumen ahorros aislamiento cámara	60
Figura 10-6 Gráfica comparativa: Sistema actual vs Aislamiento en cámara	60
Figura 10-7 Resumen ahorros acristalamiento aislante	61
Figura 10-8 Gráfica comparativa: Demanda Actual vs Doble acristalamiento	61
Figura 10-9 Comparación de demandas según envolventes	62
Figura 10-10 Gráfica comparativa de demanda según envolvente	63
Figura 11-1 Tabla de Ayudas detallada. Fuente: Resolución de 25 Junio de la IDAE	65
Figura 0-1 Factor de sombra para obstáculos en fachada: Voladizo. Fuente CTE	73
Figura 0-2 Factor de sombra para obstáculos en fachada: Retranqueo. Fuente: CTE.....	73
Figura 0-3 Factor de sombra para obstáculos en fachada: lamas. Fuente CTE	74
Figura 0-4 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos. Fuente: CTE.....	74
Figura 0-5 Factor de sombra para lucernarios. Fuente: CTE.....	75
Figura 0-6 Temperaturas de consiga. Fuente: UNE-EN ISO 13790 20.....	76
Figura 0-7 Temperatura exterior de cálculo.....	76
Figura 0-8 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790.....	77
Figura 0-9 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790.....	78
Figura 0-10 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790.....	78

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se ha producido un aumento en la preocupación por el desarrollo sostenible, que ha llevado a la proliferación de gran cantidad de metodologías y normativas destinadas a optimizar el uso que hacemos de la energía. Dichas metodologías se aplican tanto para sistemas activos (instalaciones térmicas) como para sistemas pasivos (características constructivas que definen la envolvente)

En el consumo energético influyen de forma directa: la envolvente térmica, la eficiencia energética de los equipos, las fuentes energéticas empleadas y el uso que los individuos hacen de ella.

En el sector de la construcción surgen dos grandes problemáticas: por un lado el acondicionamiento interior deficiente, y por otro, los elevados consumos de energía, ambas problemáticas son producto de una deficiente condición de las edificaciones. En este sentido, la certificación energética de edificaciones desempeña un papel importantísimo.

En el año 2006, la Comisión Europea lanzó su “Plan de acción para la eficiencia energética” dirigido a ciudadanos, responsables políticos y a los agentes del mercado animándoles a construir un mercado con las infraestructuras, productos, procesos y sistemas energéticos más eficientes del mundo. La Comisión, evaluó que el ahorro de energía más importante debía producirse en los principales sectores causantes del despilfarro energético: el sector transportes y el de viviendas y edificios comerciales. [1]

En el mismo año, se publicó y aprobó el Real Decreto 314/2006 o Código Técnico de la edificación (En adelante CTE) que junto con otra serie de disposiciones, regula las exigencias básicas de calidad de los edificios y de sus instalaciones. Entre estas exigencias, se encuentra la de **ahorro energético**, detallada en el art. 15, en el que se define el objetivo de “conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo”. Entre estas exigencias está la de disponer de una envolvente de características tales que se limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el confort térmico. [2]

Esta normativa es decisiva para el desarrollo de las políticas del Gobierno en materia de sostenibilidad energética y constituye una herramienta fundamental para cumplir con compromisos medioambientales de alcance internacional como es el Protocolo de Kioto¹.

El Ministerio de Defensa, tal y como defiende en su Memoria de Responsabilidad social del año 2010, apuesta por un “desarrollo de sus actividades y operaciones militares de manera respetuosa con la conservación del medio ambiente, desde el enfoque en que el cuidado del entorno natural y el desarrollo sostenible proporcionan un valor añadido a la política de Defensa” [3]

Este compromiso con el medioambiente, queda plasmado en un hecho manifiesto: “España es el país de la Unión Europea que tiene más instalaciones militares certificadas por la normativa ambiental ISO 14.001.²”

El objetivo que se planteó en los comienzos fue la reducción del consumo energético en sus edificios un 20% para antes del año 2016, siempre sin afectar a la operatividad de la fuerza.

El desarrollo de un Sistema de Gestión Ambiental (en adelante SGA) supuso la necesidad de crear la Subdirección General de Sostenibilidad Ambiental y Eficiencia Energética para garantizar el adecuado estado de conservación de las instalaciones, permitiendo controlarlas y vigilarlas, pudiendo anticipar posibles incidencias para resolverlas en el mínimo tiempo posible.

¹ El protocolo de Kioto, convenio de la Organización de las Naciones Unidas (ONU) sobre el cambio climático que tiene por objetivo reducir las emisiones de determinados gases contaminantes causantes del efecto invernadero.

² Norma ambiental ISO 14.001. es una norma encuadrada dentro del estándar internacional de gestión ambiental publicado en 1996. Esta norma concretamente establece como establecer un SGA efectivo.

2 OBJETIVOS

El objetivo de este Trabajo de fin de Grado es evaluar la influencia de la envolvente térmica del Cuartel Francisco Moreno en la demanda energética, y determinar cómo podría mejorarse dicha envolvente, de forma que la demanda energética se redujera, manteniendo las mismas condiciones de confort.

Independientemente del rendimiento actual de las instalaciones térmicas de edificios y de sus posibles mejoras, que ya fueron objeto de estudio en anteriores trabajos de fin de grado [4], cada edificio, se caracteriza como zona térmica según su envolvente, que se define según: sus **cerramientos opacos** (muros, suelos y cubiertas) sus **huecos** (vidrios y marcos) y **puentes térmicos**.

Para llevar a cabo este análisis, se hará uso del software de simulación potente Trnsys, con el que se realizará un estudio térmico del Cuartel Francisco Moreno, definido de forma lo más precisa posible mediante el programa de diseño gráfico SketchUp con su plugin Trnsys3D.

Con todo esto, será posible calcular la demanda de calor en los distintos periodos del año. La demanda de frío, no será objeto de este estudio dado que los alumnos no se alojan en él durante la temporada estival, por lo que no es necesario climatizarlo durante ese período.

En el desarrollo de este trabajo, llegaremos a conocer la demanda energética del cuartel en la situación actual, así como la demanda en el caso de la aplicación de distintas medidas de mejora de su envolvente, siempre y cuando, estos se evalúen como un medio viable, realista y susceptible de ser aplicado en la realidad. Será, por tanto, necesario llevar a cabo un estudio económico, evaluando costes y tiempo de amortización de cada una de las soluciones constructivas propuestas.

3 NORMATIVA DE APLICACIÓN

Código Técnico de la Edificación

Durante el desarrollo de este trabajo de fin de grado, el Código Técnico de la Edificación (CTE) ha sido la principal referencia, ya que contiene toda la normativa referente a las exigencias de ahorro energético. [2]

Este documento normativo se organiza en cinco (5) secciones o grandes bloques:

- (1) Limitación de la demanda energética**
- (2) Rendimiento de instalaciones térmicas**
- (3) Eficiencia energética de las instalaciones de iluminación**
- (4) Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria (ACS)**
- (5) Contribución fotovoltaica mínima de energía eléctrica**

Dentro de todo el conjunto normativo, ha sido lo contenido en el DBHE-1 “Limitación de la demanda energética” lo que nos ha servido de referente.

El **objetivo** de esta sección, según lo establecido en el mismo documento es garantizar que “Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos.”

La sección consta de los siguientes puntos:

- 1- Ámbito de aplicación
- 2- Caracterización y cuantificación de la exigencia
- 3- Verificación y justificación del cumplimiento de la exigencia
- 4- Datos para el cálculo de la demanda:
 - 4.1 Solicitaciones exteriores
 - 4.2 Solicitaciones interiores y condicionantes operacionales
- 5- Procedimientos de cálculo de la demanda
 - 5.1 Características de procedimientos de cálculo
 - 5.2 Modelo del edificio
 - 5.3 Edificio de referencia
- 6- Productos de construcción
- 7-Construcción

Este documento contiene toda la normativa necesaria para poder definir un modelo de referencia en el que se definan todas las cargas/solicitudes.

La nueva normativa del CTE, se relaciona, en lo referente a documentación de ahorro de energía con la siguiente normativa:

- Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificio
- La Directiva EPBD Recast 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios
- El Real Decreto de Certificación 235/2013 de procedimiento básico para la certificación energética de los edificios
- Decisión de la UE 2013/114/UE por la que se establece el cálculo de la energía renovable de las bombas de calor conforme a la directiva 2009/28/CE
- El Reglamento Delegado 244/2012 que completa la EPBD recast estableciendo un marco metodológico comparativo para calcular los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios y sus elementos
- Directrices que acompañan el Reglamento Delegado 244/2012, con referencia 2012/C 115/01

El articulado del Documento se aprobó con el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, y ha sido modificado por las siguientes disposiciones:

- Real Decreto 1371/2007 de 19 de octubre para la corrección de errores y erratas del Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo (BOE 23-octubre-2007)
- Corrección de errores y erratas del Real Decreto 1371/2007 (BOE 25-enero-2008)
- Orden FOM /1635/2013 del 10 de septiembre por el que se actualiza el Documento Básico DB-HE (BOE 12-septiembre-2013)

4 IMPORTANCIA DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA EN LA EFICIENCIA ENERGÉTICA

La **eficiencia energética** consiste en el uso eficiente de los recursos energéticos para optimizar su empleo, utilizando la mínima cantidad posible con las mismas prestaciones o servicios.

Hoy en día, la limitación de la demanda energética es una de las exigencias básicas del CTE.

Es importante para comprender el desarrollo de este trabajo entender la diferencia entre Consumo energético y Demanda energética, cuyos términos vienen definidos en el Documento Básico de HE Ahorro de energía:

- Consumo energético: es la energía necesaria para satisfacer la demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados.
- Demanda energética: energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente. Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación. Se considera la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Como vemos, demanda energética es un término más específico. No se trata de una demanda general de energía (Consumo energético), sino de la específica de determinados sistemas. En nuestro caso, nos vamos a centrar en la demanda energética de sistemas de calefacción, relacionándola con el estado de la envolvente térmica del edificio.

En esta norma, se dispone lo siguiente: “Los edificios dispondrán de una envolvente de características tales que limite adecuadamente la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función del clima de la localidad, del uso del edificio y del régimen de verano y de invierno, así como por sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, reduciendo el riesgo de aparición de humedades de condensación superficiales e intersticiales que puedan perjudicar sus características y tratando adecuadamente los puentes térmicos para limitar las pérdidas o ganancias de calor y evitar problemas higrotérmicos en los mismos” [Art. 15.1 de la HE1: Limitación de demanda energética]

La **envolvente térmica** de cualquier construcción, la componen todos aquellos cerramientos que la delimitan respecto del exterior, del terreno y de cualquier posible adyacencia a otros edificios.

Está compuesta por: Cubiertas, suelos, fachadas (muros y huecos) medianerías, cerramientos en contacto con el terreno y particiones interiores (que en este trabajo, dada la simplificación necesaria de modelo, no serán tenidas en cuenta).

Se entiende como una inercia o tendencia del edificio a estabilizar la temperatura interior del mismo en relación a la variabilidad de las condiciones climáticas exteriores, que por naturaleza, son muy variables.

Es fundamental para el ahorro en consumos energéticos, saber aprovechar estas inercias. Por ello, se han realizado numerosos estudios que ofrecen variadas soluciones constructivas, para que aumente el rendimiento de los edificios.

Son muchas las variables que influyen en la envolvente de un edificio y en su interacción con el exterior, entre ellas, están reconocidas por el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la energía (IDAE) las siguientes:

- **Zona climática:** Los climas de referencia, definidos en el apéndice D sección HE1 del CTE permiten la estandarización de las solicitaciones exteriores. Se definen 12 zonas climáticas de la Península Ibérica a fin de definir unos parámetros climáticos (temperatura, radiación solar...) representativos de una zona concreta para el cálculo de la demanda.
- **Tipo de edificio y orientación:** El edificio objeto de estudio, proyectado en geometría según su forma y tamaño, los materiales de construcción y sus condiciones de uso.
- **Compacidad del edificio**
- **Ventilación**
- **Transmitancia térmica de los cerramientos opacos y de los huecos,** es decir, el flujo de calor existente considerando un régimen estacionario para un área determinada y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado de los cerramientos.
- **Masa de los cerramientos:** Define la capacidad de los materiales de absorber y almacenar calor. Capacidades dependientes de la densidad, del calor específico y de la conductividad del material.
- **Porcentaje de huecos en la fachada,** la proporción de elementos transparentes/ semitransparentes de la envolvente, como por ejemplo: ventanas, claraboyas y cualquier tipo de superficie acristalada con superficie semitransparente superior al 50%.
- **Factores solares de los vidrios y elementos de sombreado:** calculados como el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente.
- **Puentes térmicos;** que son las zonas de la envolvente del edificio en las que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción que conllevan la minoración de resistencia térmica respecto al resto del cerramiento. [2]

Durante la explicación del procedimiento de cálculo se irán detallando cada una de ellas.

5 ANTECEDENTES

En Europa, el contexto energético ha cobrado gran importancia debido al aumento de necesidades energéticas en el sector residencial. Son varios los factores que han influido esta tendencia al alza de los consumos, entre ellos: el incremento del número de hogares sumado a un aumento de equipamiento y requerimientos de confort.

Son muchos los estudios estadísticos que se han realizado durante la última década, con el propósito de proporcionar información fiable sobre la situación energética con el fin de desarrollar nuevos planes de acción que permitan aumentar la eficiencia del uso que hacemos de la energía, evitando despilfarros energéticos y grandes cantidades de emisiones contaminantes a la atmósfera.

Por estas razones, los países europeos, entre ellos España, han llevado a cabo varios proyectos y estudios para valorar su situación. Para ello, el Consejo Europeo ha elaborado un reglamento que normativiza la elaboración, transmisión, evaluación y difusión de estadísticas: el Reglamento (CE) No 1099/2008 de 22 de Octubre de 2008.

En España se ha creado un Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) que entre otras cosas, ha elaborado un documento de referencia denominado “Proyecto SPAHOUSEC (Análisis del consumo energético en las residencias españolas)”. [5]

Estos estudios han servido para hacer un análisis de consumos en base a aspectos como la zona climática o el tipo de edificación, para ello, se ha llevado a cabo una labor de recopilación de datos mediante encuestas, tanto telefónicas como presenciales.

En cuanto a los estudios relativos a equipos de calefacción y refrigeración, se ha llegado a la conclusión de que, la mayor parte de recursos energéticos, se destinan a los sistemas de calefacción. En la siguiente figura se puede ver el reparto de consumos en la zona Atlántico Norte, que es la zona que nos atañe en el presente estudio.

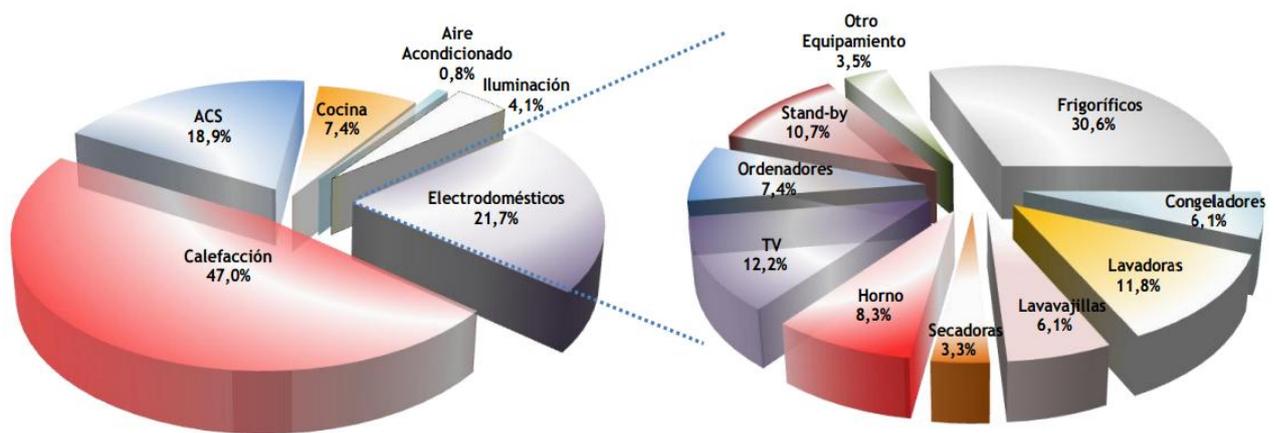


Figura 5-1 Consumos generales zona Atlántico Norte. [5]

Los resultados permiten también hacer una comparativa en función del tipo de viviendas dentro de una misma zona climática:

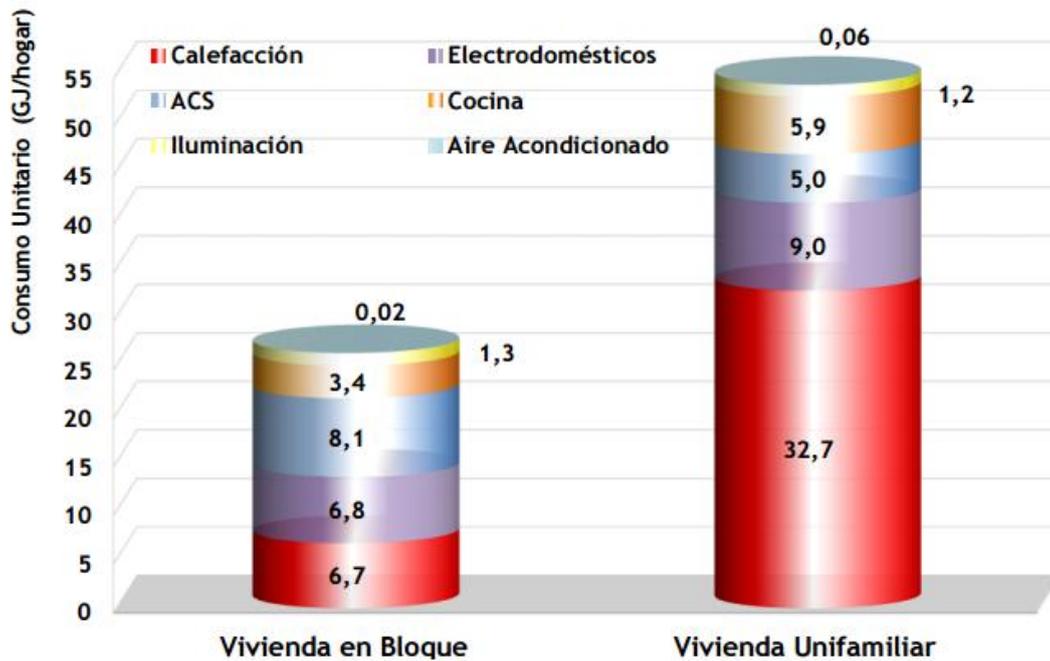


Figura 5-2 Consumos según vivienda en Atlántico Norte [5]

Entre las principales conclusiones obtenidas, se encuentra la necesidad de racionalización de los recursos energéticos.

En este contexto, surge la necesidad de plantearse la adopción de una serie de medidas, por lo que se publica el “Plan de Acción 2011 - 2020” en el que se tiene en cuenta el cumplimiento de la Directiva 2006/32/CE sobre eficiencia energético. [6]

Entre las medidas propuestas en esta directiva, se encuentra la Rehabilitación energética de edificios, en la que se proponen, entre otras medidas, la necesidad de rehabilitación de envolvente térmica de instalaciones de calefacción, refrigeración e iluminación.

En el punto 9.3 del Plan se exponen distintas medidas de ahorro en el sector Edificación y equipamiento, siendo la Medida 1 “rehabilitación energética de la envolvente térmica de los edificios existentes”. Con esta medida, se busca fomentar el cumplimiento de las exigencias de Ahorro energético mínimas, descritas en el CTE. Entre los mecanismos de actuación se encuentran:

Mecanismos regulatorios³: por los que se fijan unos requisitos de obligado cumplimiento, tanto para edificios nuevos, como para los modernos. En este contexto, se fija también un procedimiento de certificación energética.

Incentivos económicos basados en la subvención directa de capital o bonificación en el tipo de interés de préstamos, a fin de poder llevar a cabo las medidas de rehabilitación energética.

Formación Se desarrollarán actividades de formación e información dirigidas a proyectistas/direcciones facultativas y agentes responsables de la gestión energética.

Información Fomentar la toma de medidas mediante la divulgación de datos estadísticos objetivos.

Este trabajo de fin de grado, tiene por objeto analizar la influencia de la envolvente térmica en la demanda energética, fijando como objeto de estudio, el caso práctico del Cuartel Francisco Moreno. Es por ello, necesaria la introducción de trabajos previos del mismo campo de aplicación realizados sobre nuestro edificio:

En primer lugar, cabe destacar el estudio realizado sobre la certificación energética del edificio [7]:

La escala de certificación se basa en una clasificación codificada mediante letras, que van de la “A” a la “G”, siendo la “A” la de mayor eficiencia y la “G” la de menor. Esta clasificación, se hace en función de unos indicadores de emisiones globales de dióxido de carbono a la atmósfera [KgCO_2/m^2] que son representativos del consumo energético de la edificación.

El proceso de certificación energética se llevó a cabo mediante el uso del software especializado CE3X, obteniendo como resultado, la clasificación “D”, tal y como se puede observar en la Figura 5-3 Etiqueta energética generada por CE3X.

INDICADOR GLOBAL		INDICADORES PARCIALES			
	134.16 D	CALEFACCIÓN		ACS	
		G		C	
		Emisiones calefacción [kgCO_2/m^2 año]		Emisiones ACS [kgCO_2/m^2 año]	
		35.66		66.98	
		REFRIGERACIÓN		ILUMINACIÓN	
		C		C	
		Emisiones refrigeración [kgCO_2/m^2 año]		Emisiones iluminación [kgCO_2/m^2 año]	
134.16		1.52		30.0	

Figura 5-3 Etiqueta energética generada por CE3X. [7]

³ Programa PAREER-CRECE “Programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes” cuyas bases reguladoras se encuentran en el B.O.E número 235, de 1 de octubre de 2013

En el desarrollo de su trabajo, Javier Piñeiro concluye interpretando del resultado obtenido que: “a mayor número de emisiones de CO₂ a la atmósfera, menor será la capacidad de la edificación de retener la energía requerida sin que ésta se escape por las diferentes zonas de la edificación (huecos/lucernarios, puentes térmicos, ventanas, etc.)”

Una vez determinada la calificación global del edificio, procede a hacer clasificaciones parciales en función de la demanda energética.

De la calificación parcial de la demanda de calefacción, se obtuvo que debido al elevado consumo de calefacción anual, la clasificación correspondiente, es la peor posible: la “G”:

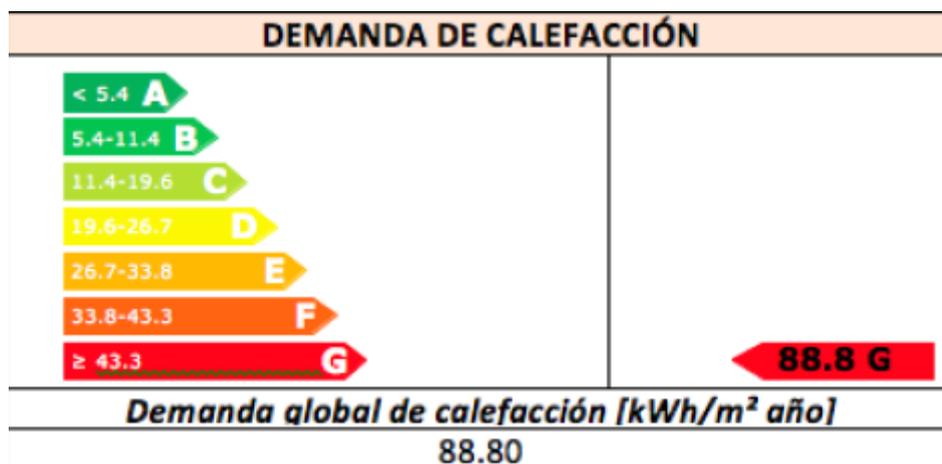


Figura 5-4 Etiqueta energética generada por CE3X. [7]

La conclusión que extrae Piñeiro de este resultado, es que: la causa de esta clasificación “puede ser debida a la falta de un buen aislamiento”.

Estas clasificaciones energéticas, sirven al presente trabajo como referencia, ya que, se parte del conocimiento de que: el edificio tiene un **gran margen de mejora en lo relativo a la envolvente térmica y a la reducción de consumos de calefacción.**

6.1 Descripción de la construcción

La construcción es de 1986, por lo que la normativa de edificación en la que se basa es anterior al Documento Básico de Ahorro de Energía del actual CTE.

El edificio es simétrico con forma de “H” cerrada en su cara Oeste y tiene su eje principal orientado al 070°.

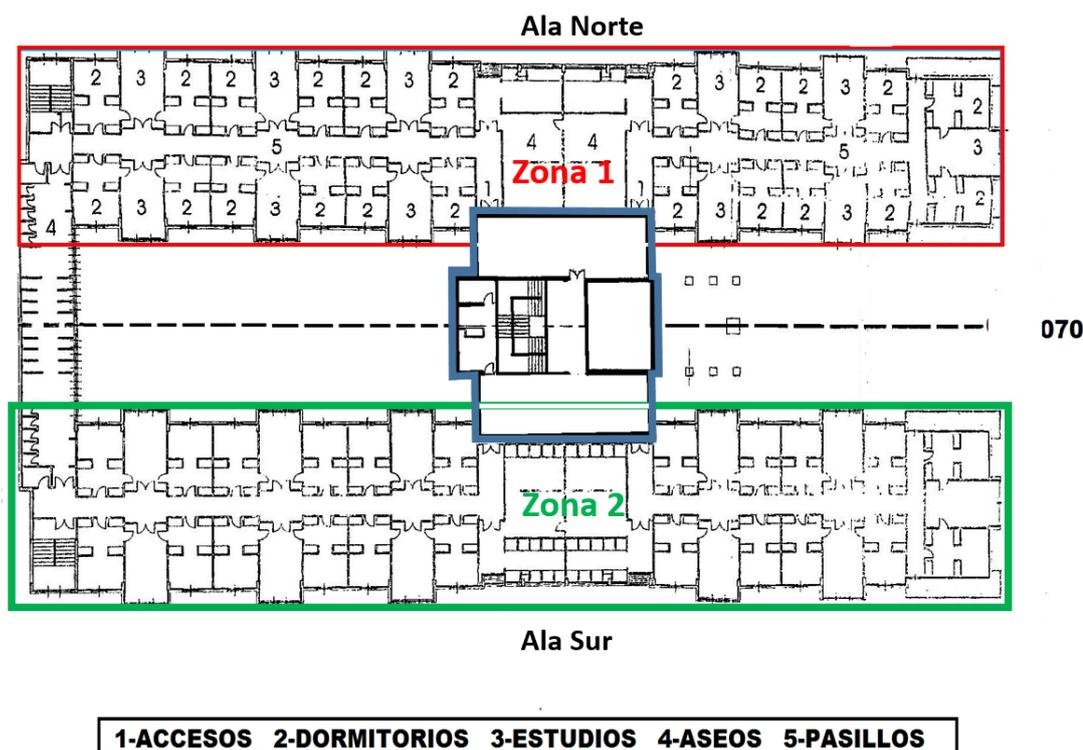


Figura 6-2 Detalle de la Distribución del Cuartel Francisco Moreno.

El edificio consta de tres plantas: Planta baja, Primera Planta y Segunda Planta:

En la **Primera planta**, en la zona central del edificio, se encuentran: un vestíbulo-recepción, donde está la escalera principal, y en su lateral Sur, se sitúa la Biblioteca Gabriel Ciscar y Ciscar, construida tras los proyectos de reforma del año 2010, y que en sus inicios, fue un simple patio cubierto como sigue siendo hoy en día el patio Norte. En la zona posterior del edificio, orientada al Oeste, se encuentran las salas destinadas a proporcionar servicios de calefacción, agua caliente y electricidad, así como una serie de almacenes destinados a distintos propósitos.

Las plantas Primera y Segunda, son idénticas en distribución y superficie, siendo ésta de 2.374,26 metros cuadrados. En ellas se sitúan los dormitorios, estudios y aseos de los alumnos

6.2 Estado actual del edificio

El Cuartel de Alumnos Almirante Francisco Moreno, ha sufrido tres reformas desde la finalización de su construcción en 1977.

- Entre 1987 y 1988 se reformaron aseos y la escalera principal del edificio
- En 2004 tuvo lugar una segunda reforma que afectaría al ala Norte de primera y segunda planta en las que se actuaría sobre estudios y camaretas, aseos, cubierta y fachada. La reforma también afectaría a todo el sistema de calefacción, fontanería y servicio de ACS.
- En el año 2010, se llevaría a cabo una tercera reforma para rehabilitación de la “Biblioteca Gabriel Ciscar y Ciscar” situada en el patio Sur.

Actualmente el edificio tiene un gran número de infiltraciones de aire que afectan de manera muy negativa a su envolvente térmica:

Los cerramientos del edificio (puertas de madera y ventanas de aluminio) son antiguas y carecen de aislamientos, y las cajas de las persianas, son una fuente importante de infiltraciones de aire.

También es importante recalcar el estado del circuito de calefacción, que no sólo está mal aislado, sino que cuenta con muchos poros a lo largo de toda la instalación, lo cual explica la necesidad de estar purgando frecuentemente los radiadores en intervalos de tiempo muy cortos.

Estos aspectos, son los principales causantes del derroche de energía necesario para la climatización del edificio.

Instalaciones térmicas.

El Cuartel cuenta únicamente con un sistema de calderas de gas, que proporcionan Calefacción y ACS.

El circuito de calefacción, es un circuito cerrado que proporciona su servicio a todo el edificio gracias a los múltiples radiadores instalados en las zonas comunes, estudios y camaretas (Uno por cada estudio/camareta). El agua se calienta gracias a dos calderas Roca BT 450. [9]



Figura 6-3 Detalle caldera Roca BT 450 y quemadores BAXI TECNO 50. [4]

Las calderas, son de chapa de acero y tienen una potencia útil de 532,4 kW y nominal de 580 kW, por lo que la potencia nominal total de la instalación es de 1160 kW y la útil de 1064,8 kW

Las calderas operan según las órdenes de una centralita, ubicada en la misma sala de calderas que regula su funcionamiento en función de la demanda, pudiendo actuar sólo una de ellas o ambas simultáneamente.

El sistema de calefacción no cuenta con termostatos, lo cual supone otro punto en contra de la eficiencia energética.

El funcionamiento de las calderas, es prácticamente ininterrumpido debido a la gran demanda, tanto del circuito de calefacción como de ACS.

Por otro lado, el funcionamiento del sistema de calefacción durante los meses de invierno es de 5 a.m. a 7 a.m. y de 8 p.m. a 12 a.m.

7 FUNDAMENTOS METODOLÓGICOS

7.1 Cálculo de cargas térmicas

A continuación se definen una serie de conceptos fundamentales, necesarios para comprender el desarrollo de este trabajo de fin de Grado.

Se entiende como **carga térmica** de un edificio, a las transferencias de calor⁴ que influyen en la temperatura interior del aire de una zona térmica o en su contenido de humedad.

Así pues, puede hacerse distinción entre; **cargas térmicas sensibles** y **cargas térmicas latentes**:

- **Cargas sensibles:** Originan cambios en la temperatura del aire de una zona térmica
- **Cargas latentes:** Originan variación en la humedad absoluta del ambiente.

Para los procedimientos de cálculo de cargas térmicas, se hace una distinción entre: Solicitaciones exteriores y Solicitaciones interiores (teniendo en cuenta las condiciones operacionales):

- Las **Cargas externas**, son aquellas acciones del ambiente que tienen efecto sobre el edificio, influyendo en su comportamiento térmico y, por tanto, en su demanda.
 - Cargas a través de cerramientos (Carga sensible)
 - Cargas a través de superficies acristaladas, ventanas, claraboyas (Carga sensible)
 - Cargas introducidas a través de la ventilación (Carga sensible y latente)
 - Cargas debidas a infiltración. (Carga sensible y latente)
- Las **Cargas internas** son aquellas cargas térmicas generadas en el interior del edificio, que se deben a los aportes de energía de ocupantes, equipos e iluminación.

Las condiciones operacionales, vienen definidas en el **apéndice C de la sección HE1** para la limitación de la demanda energética. Son las siguientes:

- 1) Temperatura de consigna de calefacción (Carga sensible)
- 2) Cargas internas debidas a la ocupación (Carga sensible y latente)
- 3) Cargas internas debidas a la iluminación (Carga sensible)
- 4) Cargas internas debidas a los equipos electrónicos, informáticos (Carga sensible)

4 El **calor** se define como la energía cinética de los átomos que componen cualquier molécula. Esta energía, puede transferirse básicamente de tres formas distintas:

Conducción: Producida por el choque directo entre moléculas.

Convección: Se produce por movimiento/circulación de masas alrededor de las sustancias.

Radiación: Como energía térmica emitida por una materia a una temperatura dada.

Los cálculos que se desarrollan a continuación, se basan en un módulo de instalaciones de climatización y ventilación, [10] así como en un tutorial de ingeniería mecánica [11]

Cargas sensibles

Para calcular la carga térmica sensible (Q_s) empleamos la siguiente expresión:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai}$$

Donde:

- Q_{sr} es Q_s debida a radiación solar a través de superficies acristaladas (W)
- Q_{str} es Q_s por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (W)
- Q_{st} es Q_s por transmisión a través de paredes techos, suelos y puertas interiores (W)
- Q_{si} es Q_s transmitida por infiltraciones de aire exterior (W)
- Q_{sai} es Q_s debida a aportaciones internas (W)

A continuación se analizará cada una de estas cargas por separado:

(1) Q_{sr} : La radiación solar que atraviesa las superficies traslúcidas/transparentes provoca un incremento de temperatura en el interior de la zona térmica a la que limitan. Esta carga se calcula como:

$$Q_{sr} = S \times R \times F$$

Siendo:

- (S) Superficie traslúcida por la que atraviesa la radiación (m^2)
- (R) Radiación solar incidente ($\frac{W}{m^2}$). Depende de la orientación respecto al Sol
- (F) Factor de corrección de radiación en función del tipo de vidrio empleado, efectos de posibles sombras existentes, etc. cuyos valores pueden encontrarse tablas en el DB HE de Ahorro de energía.

El procedimiento de cálculo de dicho factor se obtiene mediante la siguiente expresión:

$$F = F_s \times [(1 - FM) \times g_{\perp} + FM \times 0,04 \times Um \times \alpha]$$

F_s Factor de sombra del hueco/lucernario obtenido por tablas (Anexo I: Tablas y Factores. Fundamentos Teóricos)

FM Es la fracción de hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o fracción de parte maciza en caso de puertas

g_{\perp} Es el factor solar de la parte semitransparente del hueco/lucernario a incidencia normal.

(2) **Q_{str}** La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos opacos que limitan con el exterior. Se calcula como sigue:

$$Q = K \times S \times (T_{ec} - T_i)$$

- K es el coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento o Transmitancia térmica ($\frac{W}{m^2C}$)
- S es la superficie de pared/cubierta expuesta a la diferencia de temperaturas (m^2)
- T_i es la temperatura interior de consigna⁵ del local (°C) Anexo I: Tablas y Factores. Fundamentos Teóricos
- T_{ec} es la temperatura exterior al otro lado del local

Para el cálculo de la temperatura exterior (T_{ec}) se parte de la temperatura exterior de diseño (T_e) en la que se debe tener en cuenta la temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y su máxima (T_{máx}) de la siguiente forma:

$$T_e = 0,4 \times T_{me} + 0,6 \times T_{máx}$$

Una vez calculada, se aplica una corrección en la que se tiene en cuenta la orientación del cerramiento considerado en cada caso:

(3) **Q_{st}** La carga por transmisión a través de los cerramientos interiores del local, se calcula mediante la expresión:

$$Q_{st} = K \times S \times (T_e - T_i)$$

Cada variable (empleada anteriormente en otros elementos) se aplicaría a cada cerramiento interior específico.

Para el cálculo de la variable K es aplicable, tanto al material de construcción empleado, como al sistema de cerramiento.

⁵ Temperatura de consigna: Temperatura o rango de temperaturas consideradas en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

- (4) **Q_{si}** La carga térmica causada por infiltraciones y ventilaciones de aire del exterior, se determinan del modo siguiente:

$$Q_{si} = V \times \rho \times C_{e, \text{aire}} \times \Delta T$$

Siendo:

- V el caudal de aire infiltrado y ventilación del aire exterior ($\frac{m^3}{s}$)
- “ ρ ” la densidad del aire ($1,18 \frac{Kg}{m^3}$)
- C_{e aire} el calor específico del aire ($1212 \frac{J}{Kg \cdot ^\circ C}$)
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior y el interior

Cabe destacar que el cálculo de las infiltraciones, es un valor complicado de averiguar, y por lo general, se suelen hacer aproximaciones toscas para llevar a cabo los cálculos.

- (5) **Q_{sai}** Las ganancias de carga térmica sensible, debidas a aportaciones internas, se determinan como el sumatorio de las siguientes aportaciones, mencionadas al principio de este apartado:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se}$$

Donde:

- Q_{sil} es la ganancia debida a la iluminación artificial en el interior (W)
- Q_{sp} es la ganancia debida a la ocupación de personal (W)
- Q_{se} es la ganancia debida a los aparatos eléctricos del interior. (W)

Q_{sil} (Carga sensible por iluminación interior)

Para su cálculo, puede considerarse una buena aproximación, el que la potencia de cada foco se transformara, en su totalidad, en calor sensible.

$$Q_{s, il} = n \times P_{lamp} \times C_{simult}$$

- N es el número de focos de luz
- P_{lamp}, la potencia de la lámpara (W)
- C_{simult} el coeficiente de simultaneidad ($0 \leq C_{simult} \leq 1$)

Q_{sp} (Carga sensible aportada por personas) y Q_{se} (Carga aportada por equipos eléctricos)

Las personas transfieren calor por radiación, convección y conducción, y aumentan también el nivel de humedad del ambiente mediante la respiración.

Del mismo modo lo hacen los equipos. A continuación, se relacionan unas figuras, en las que se detallan los flujos de calor típicos, en función de la ocupación y el tipo de edificio.

$$Q_{sp} + Q_{se} = \frac{\Phi}{At} \times At \times C_{simult}$$

Cargas latentes

Para el cálculo de cargas latentes, emplearemos la siguiente expresión:

$$Ql = Ql i + Ql p$$

- $Ql i$ Es carga latente debida a infiltraciones
- $Ql p$ Es carga latente provocada por la ocupación en la zona térmica

(1) $Ql i$ La carga latente debida a infiltraciones/ventilación de aire externo se deduce de la siguiente expresión:

$$Ql i = V \times \rho \times C l \text{ agua} \times \Delta W$$

Siendo:

- V el caudal de aire infiltrado y ventilación del aire exterior ($\frac{m^3}{s}$)
- " ρ " la densidad del aire ($1,18 \frac{Kg}{m^3}$)
- Ce el calor específico del aire ($2257 \frac{KJ}{Kg}$)
- Δw la diferencia entre humedad absoluta exterior e interior

(2) $Ql p$ La carga latente por ocupación, se determinará de forma análoga a la carga sensible, siguiendo la misma fórmula.

$$Ql p = \frac{\phi}{At} \times At \times C \text{ simul}$$

7.2 Software empleado

A continuación, se relaciona el software con el cual se ha llevado a cabo la simulación.

SketchUp + Trnsys3D

El SketchUp, es una herramienta CAD (Computer Aided Design) que permite diseñar y simular elementos reales de forma sencilla e intuitiva.

Este programa ha servido de soporte principal para el diseño de la construcción objeto de este estudio, ya que, gracias a ella, hemos podido ir definiendo las distintas zonas que los componen.

Las zonas, se han definido gracias al plugin Trnsys3d, que integrado en SketchUp, permite definir tantas zonas térmicas y de sombra como se considere necesario.

Trnsys

Actualmente, podemos encontrar numerosos softwares de simulación térmica dinámica, ya que éstos son usados frecuentemente por arquitectos e ingenieros, en el campo de la edificación.

El Trnsys es uno de ellos. Fue desarrollado por el Laboratorio de Energía solar de la Universidad de Wisconsin-Madison, y ha sido comercializado desde 1975.

Esta herramienta de simulación compleja, requiere de un proceso formativo riguroso y de cierta práctica para alcanzar un buen manejo de las múltiples posibilidades que nos ofrece.

El programa, cuenta con una interfaz intuitiva que nos permite relacionar gráficamente los distintos componentes del sistema (types), cada uno de ellos, destinado a obtener soluciones en base a los inputs generados por el resto de elementos.

Meteonorm

Meteonorm, es un software desarrollado por una empresa privada, que desarrolló una primera versión durante los primeros años de la década de los '80 en colaboración con varias universidades y empresas de ingeniería. Contiene una extensa base de datos climatológicos, destinada a apoyar investigaciones y estudios energéticos (como es nuestro caso). Esta base de datos es global, llega a cubrir cualquier parte del mundo con gran precisión.

El programa, permite plasmar todos los datos meteorológicos requeridos en varios formatos distintos según la forma como se estructuren éstos.

8 PROCEDIMIENTO DE SIMULACIÓN Y CÁLCULOS

En la figura que a continuación se muestra, se representa un esquema simplificado del procedimiento seguido para llevar a cabo la simulación:

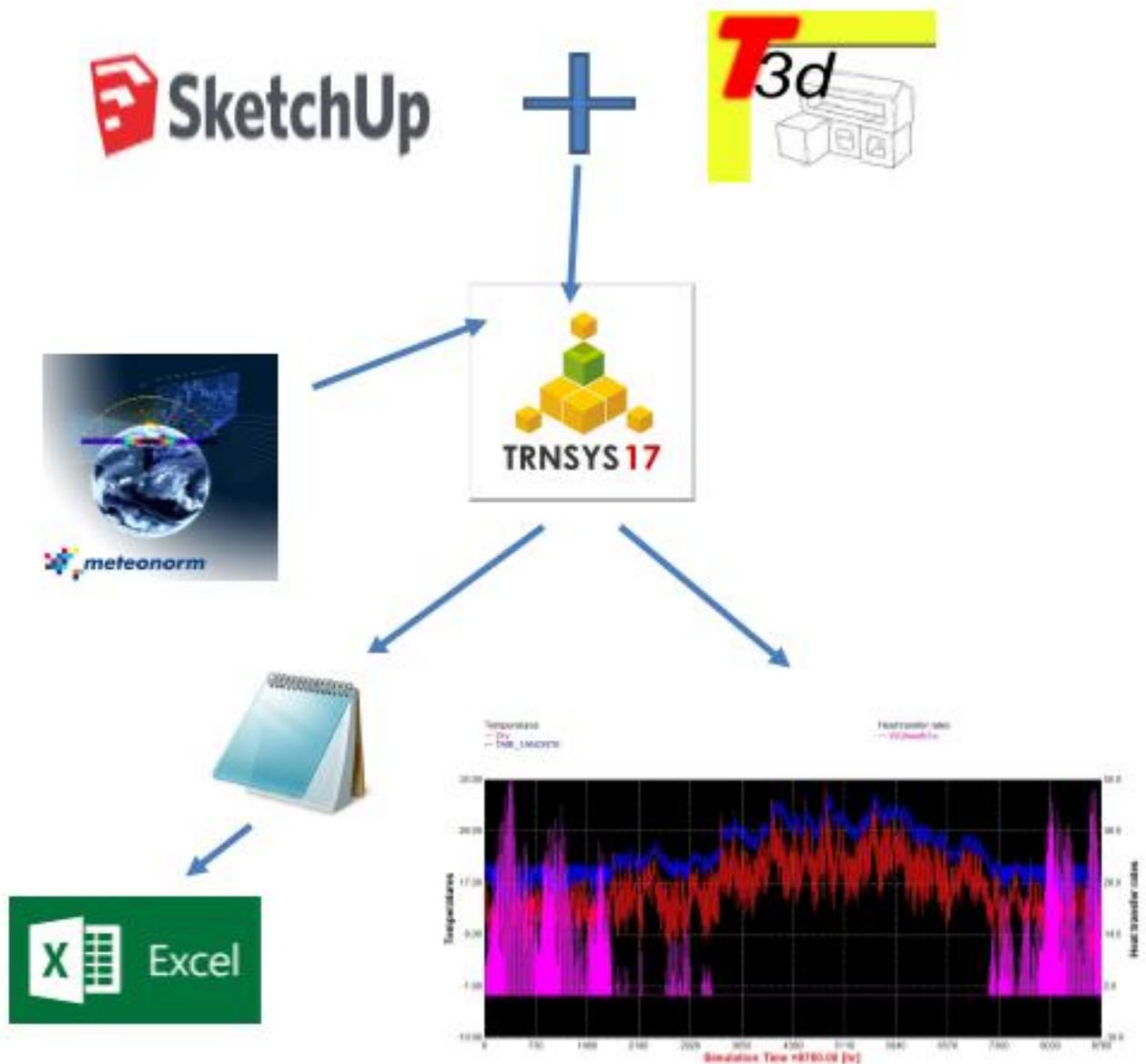


Figura 8-1 Esquema de procedimientos

8.1 Modelado en SketchUp

Definición de volúmenes

En este apartado, se describirá el modo como ha sido creado el edificio con Sketchup y el Trnsys3d. El objetivo era la definición de un modelo geométrico del cuartel, que incluyera de la forma más simplificada posible, las distintas zonas térmicas en las que se podía dividir la construcción. Los primeros diseños resultaron ser muy complicados y daban gran cantidad de errores al importarlos a Trnsys.

En primer lugar, se comenzó estableciendo modelos con hasta 40 zonas térmicas, y poco a poco, tras repetidas iteraciones, se fueron reduciendo hasta las 21 actuales:

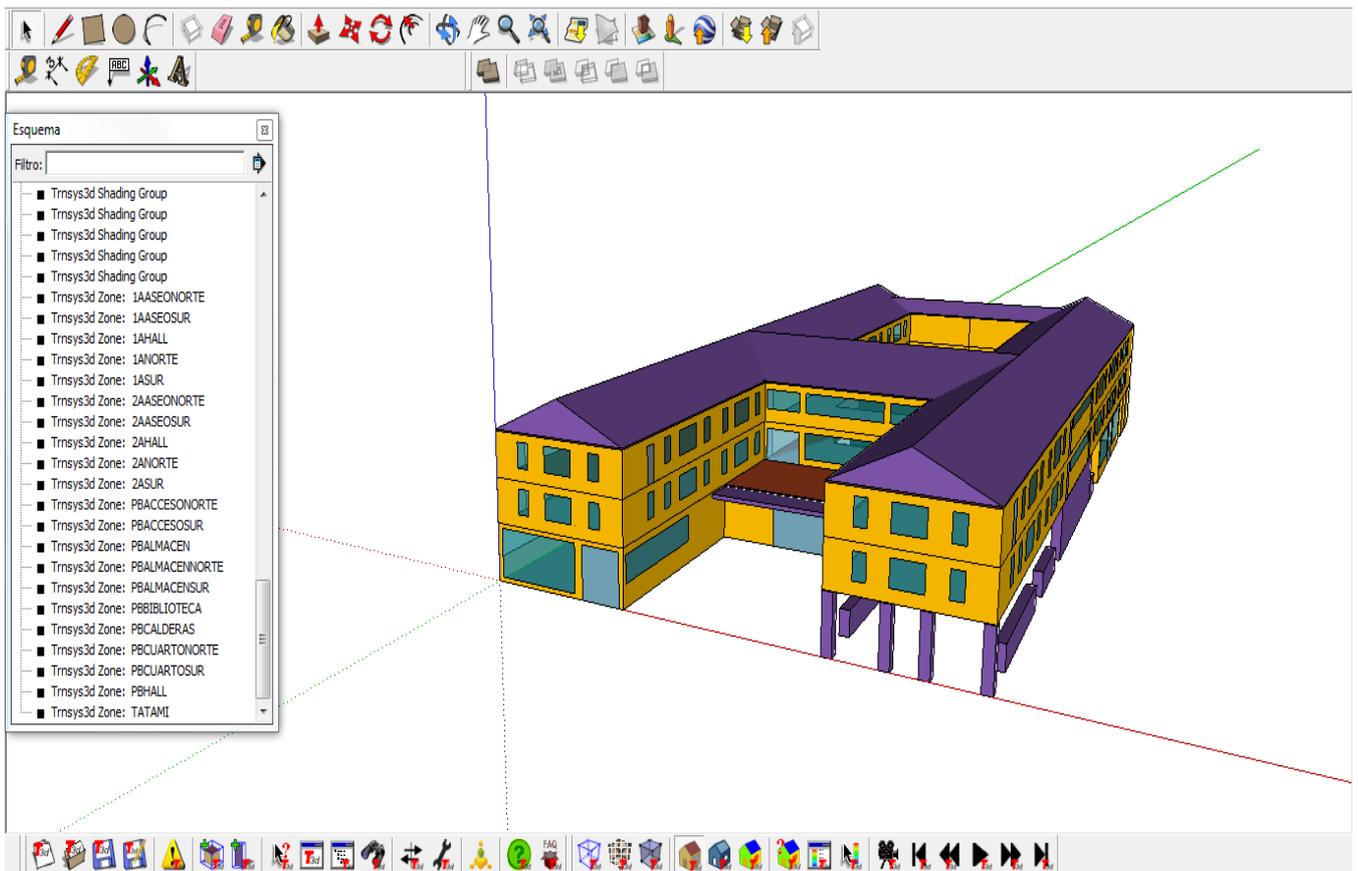


Figura 8-2 Modelo SketchUp definitivo

Una vez definidos los volúmenes correspondientes a las zonas térmicas que componen nuestro edificio, hay que definir:

- Los huecos⁶ (incluyendo ventanas y puertas) y
- Las zonas de sombra (de color morado).

⁶ **Puente térmico:** Cuando dos zonas térmicas definidas independientemente están conectadas, dicha conexión se trata como si fueran dos cristales en contacto (Con ello, definimos esa conexión como un puente térmico) como si fuera una ventana.

Definición de adyacencias

Fueron numerosos los problemas que surgieron hasta llegar al modelo final, ya que Trnsys3D exige una definición muy concreta de las relaciones entre zonas térmicas.

Para el correcto funcionamiento, hay que seguir ciertas indicaciones, ya que, cualquier mínimo fallo en el dibujo puede tener consecuencias muy graves en Trnsys, siendo fuente de gran cantidad de Warnings y errores.

Una vez dibujada la geometría, hay que establecer la relación entre las zonas, las condiciones de contorno:

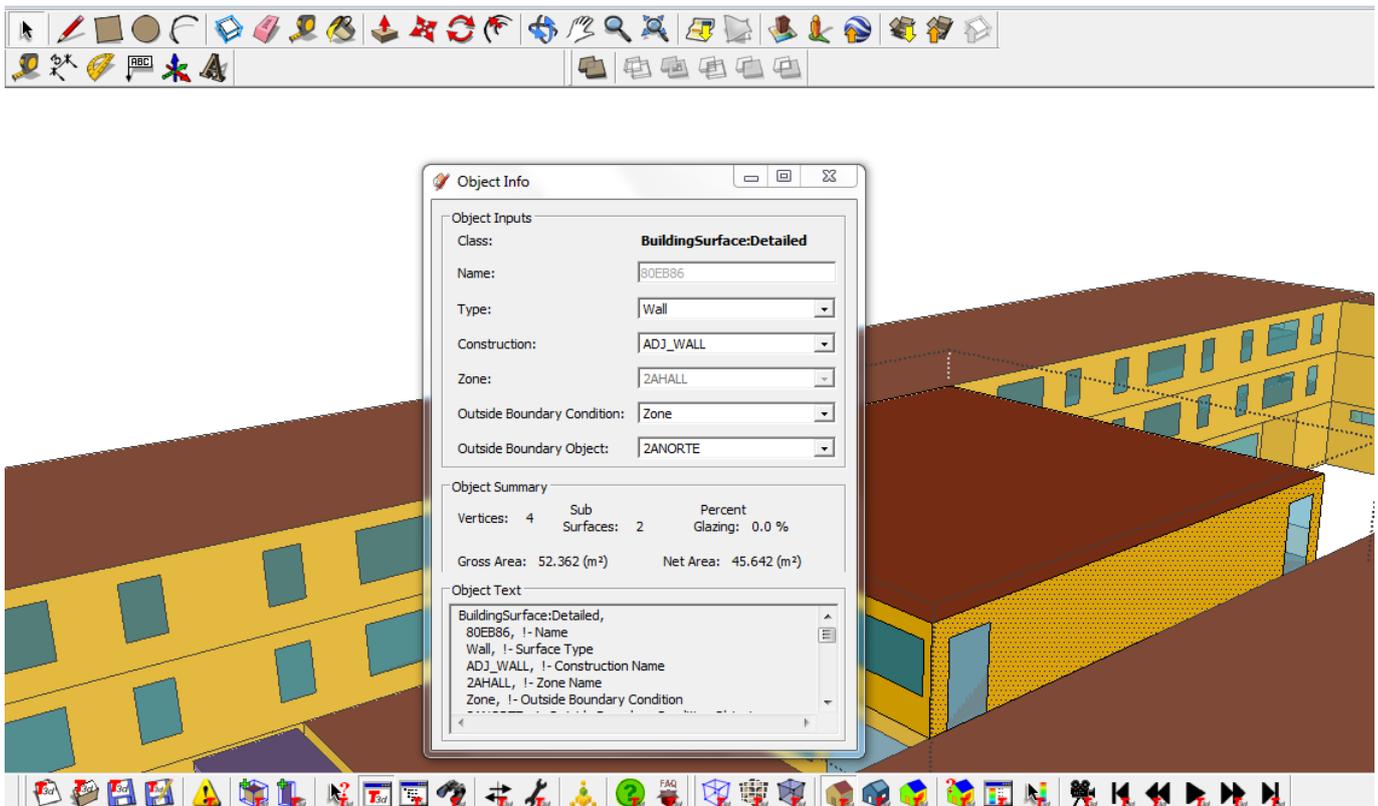


Figura 8-3 Definición de adyacencias

La definición, puede hacerse de dos formas distintas: Bien superficie a superficie dentro de cada zona, pasando por todas, bien de forma automática, con la opción “Surface Matching”.

La segunda opción es más rápida, pero exige una definición geométrica muy determinada... Es necesario haber separado paredes continuas en varias en caso de que los contactos con otras superficies no fueran compartidos a lo largo de toda ésta.

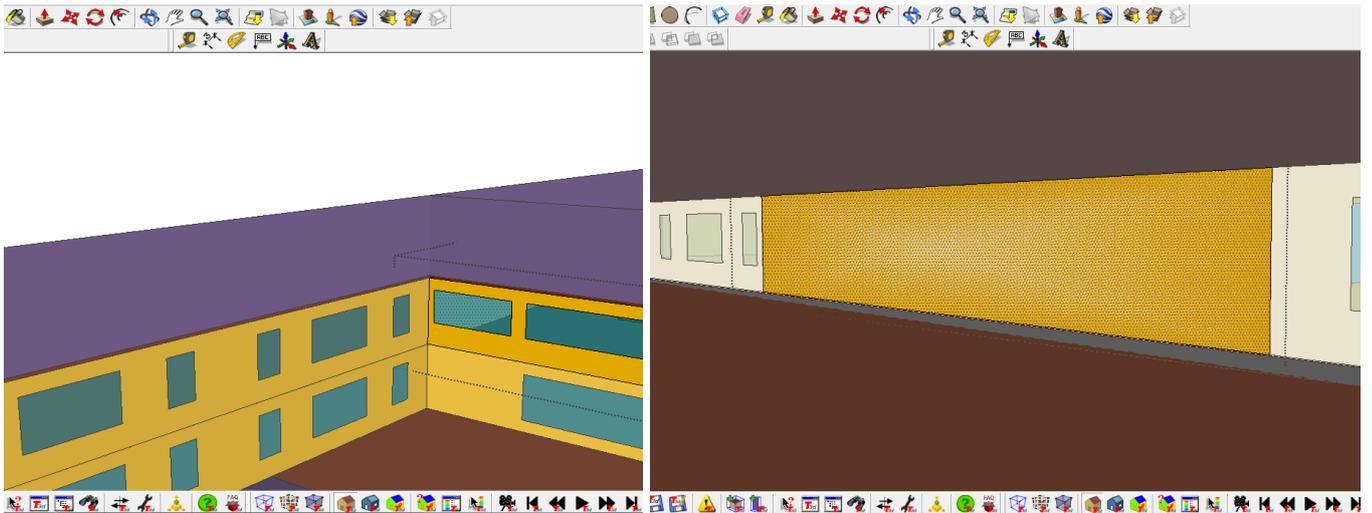


Figura 8-4 Detalle de superficie dividida por distintas condiciones de contorno

La opción empleada en nuestro modelo, ha sido la segunda, aunque hay que destacar que ha sido necesario verificar superficie a superficie, la correcta definición de superficies de contacto.

Una vez definidas todas las relaciones entre las distintas zonas con el ambiente y con el resto de zonas adyacentes, podremos importar el archivo con formato “.idf” a Trnsys, para pasar a definir aspectos más concretos del edificio, como: la composición de sus cerramientos así como determinadas ganancias o cargas térmicas, debidas a diversos factores del ambiente.

Importación del modelo a TRNSYS

Durante el proceso descrito, han sido muy numerosas las veces en las que el programa no entendía la definición de algunos elementos del modelo. Cuando esto ocurría, una ventana emergente de SketchUp o de Trnsys nos avisaba de los errores, proponiendo soluciones de simplificación no válidas (eliminaba superficies completas de algunas zonas, dejándolas abiertas al exterior).

Hasta no obtener un modelo sin errores/ Warnings, no se puede exportar el archivo de Trnsys3D a Trnsys.

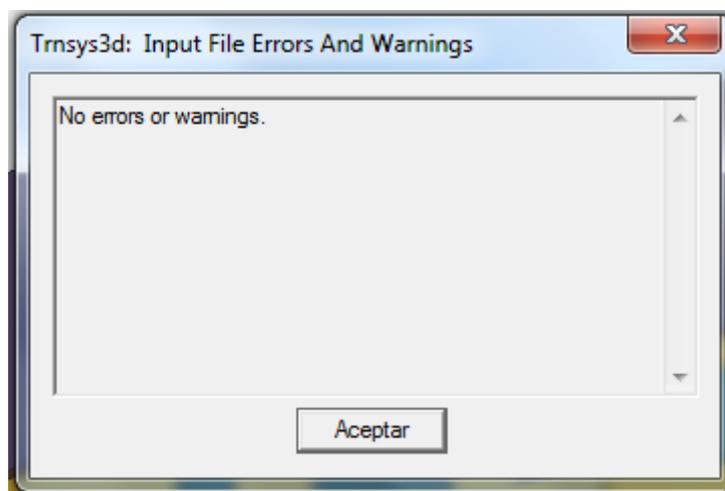


Figura 8-5 Ventana emergencia frente a errores

8.2 Definición de variables en Trnsys

Cuando el modelo de Trnsys3D está listo para ser importado, debemos abrir el programa “Simulation Studio” de Trnsys para crear un nuevo proyecto tipo: “3D Building Project (multizone)”

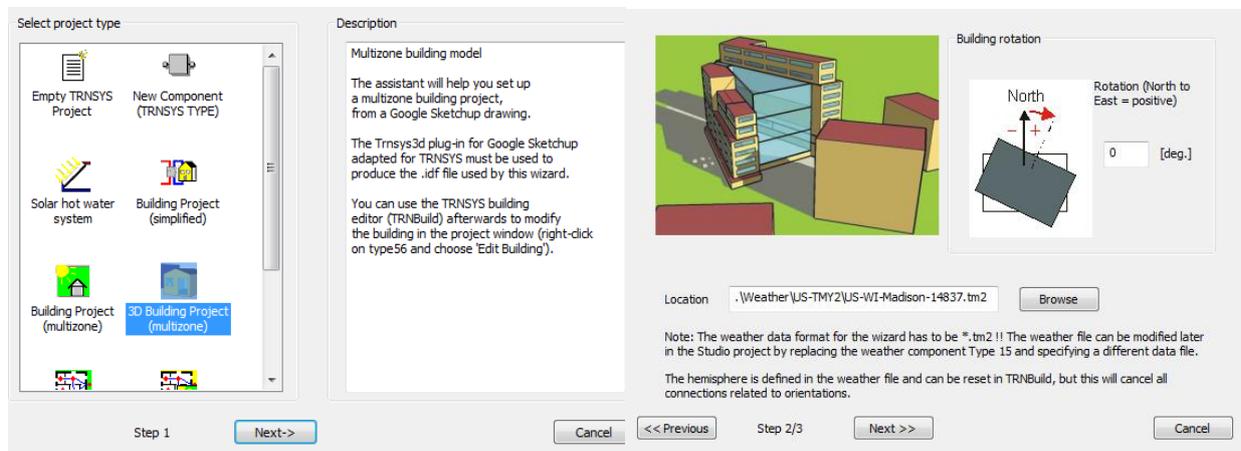


Figura 8-6 Inicio de nuevo proyecto Trnsys

Al haber seleccionado el proyecto, aparece una nueva ventana emergente, en la que nos da la opción de importar un archivo de datos que el programa define como “Localización”, lo que nos permite, es importar un archivo .txt de datos meteorológicos que puede estar codificado de muchas formas distintas. El archivo utilizado en este caso tiene formato “TM-2”. Para obtener este archivo de datos, se ha recurrido a la base de datos de Meteonorm.

El software de Meteonorm es muy intuitivo. Presenta, en primer lugar, una pestaña de selección de localización, en la que podemos encontrar 8325 estaciones, repartidas por todo el mundo, entre ellas, una en Pontevedra (42°4 N / -8.7 E).

Una vez seleccionada la localización, se pasa a una nueva pestaña, en la que se nos permitirá definir las modificaciones pertinentes en caso de existir algún input concreto. No es el caso.

En el apartado “Data”, se definen los periodos de los cuales se quiere obtener datos. Existen tres posibilidades: De 2000-2009, de 1961-1990, o previsiones futuras. En función del periodo seleccionado usará las medias de uno u otro, para generar un archivo de 365 días de datos horarios.

Por último, sólo queda definir el tipo de formato de salida de datos deseado, que como ya se ha mencionado será de tipo TM-2.

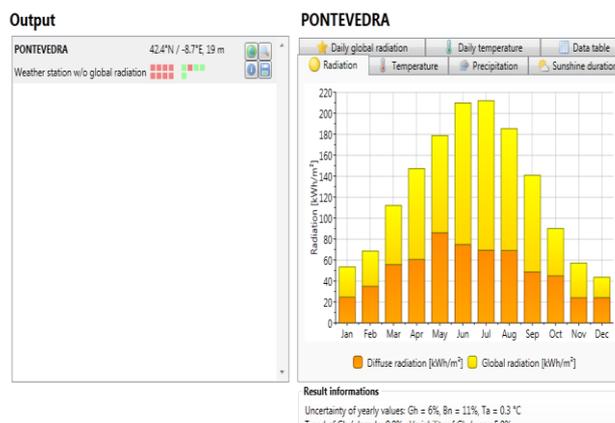


Figura 8-7 Resumen general de Meteonorm

Una vez seleccionado el formato, el programa abre una nueva pestaña, en la que se presenta una pre-visualización de los datos o “Output” (Figura 8-8 Pantalla principal de Trnsys). Sólo resta seleccionar la opción de guardar.

Una vez ya tengamos los datos meteorológicos, podremos continuar con la creación del proyecto Trnsys, en el que ya solo nos faltará importar nuestro archivo “.idf” de Trnsys3D

Cuando el archivo se importa se abre una nueva ventana, el esquema de Variables de Trnsys, con los diferentes elementos con los que definir variables, inputs y outputs.

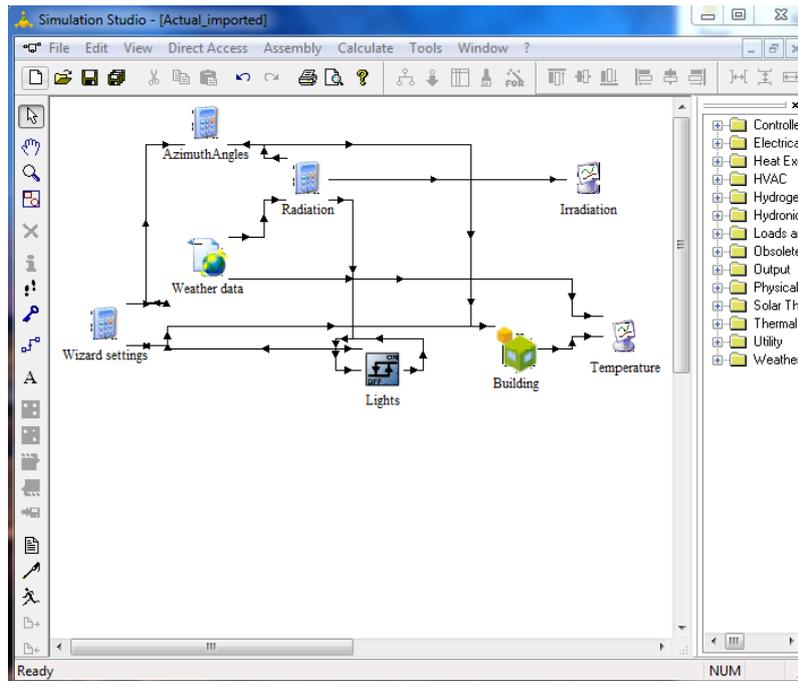


Figura 8-8 Pantalla principal de Trnsys

Los componentes o “Types” que aparecen por defecto al principio del proyecto, son muy básicos. Los principales son:

- **Weather Data** que contiene el archivo TM-2 ya importado.
- **Building** que explicaremos detalladamente durante el desarrollo de este apartado.
- **Plotter’s** que nos permiten visualizar los resultados obtenidos e incluso exportarlos a un archivo “.txt”

Descripción de los componentes utilizados

Type 56: TRNBuild

La mayoría de inputs del edificio, se pueden introducir de manera muy simple desde el Type 56 Building. Para editarlo, debemos seleccionar la opción: “Edit Building” con el click derecho. Se abrirá entonces, el programa TrnBuild, que nos permitirá definir nuestras variables del modelo de una manera muy intuitiva.

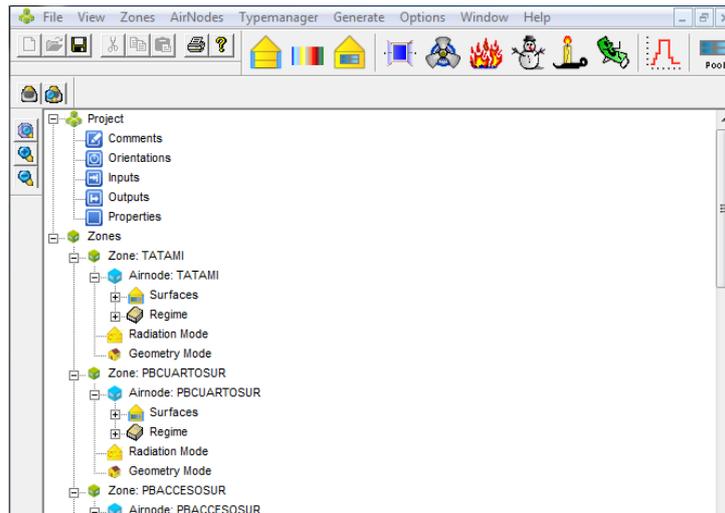


Figura 8-9 Pantalla Principal de TrnBuild

Como se puede apreciar en la imagen, en la pantalla principal del programa aparecen varias secciones:

Las primeras, subordinadas a la pestaña “Project” tienen como función la definición de inputs outputs y establecimiento de la orientación y otras propiedades/características

Las Segundas, son las distintas zonas térmicas de las que se compone el edificio, de modo que, en cada zona se puedan definir sus características propias.

Orientación del edificio (Type 56: TrnBuild)

La orientación del edificio es quizás, uno de los inputs más determinantes del estudio, ya que, como comprobaremos más tarde, en el análisis de resultados (Demanda por zonas), las condiciones varían bastante de una zona a otra, según si están orientadas al Norte o al Sur.

Durante el modelado en SketchUp la Orientación no suele tenerse en cuenta, pero así y todo, existen referencias, ya que la línea verde de Trnsys se interpreta como el Norte.

Lo recomendable es modelar los edificios, en la medida de lo posible, de forma paralela a los ejes y al importar el archivo a Trnsys corregir la orientación (Figura 8-10 Corrección de la orientación)

Tal y como está orientada la fachada principal de nuestro edificio (al 070°) el desplazamiento del eje N de la simulación ha sido de 250° en sentido horario.

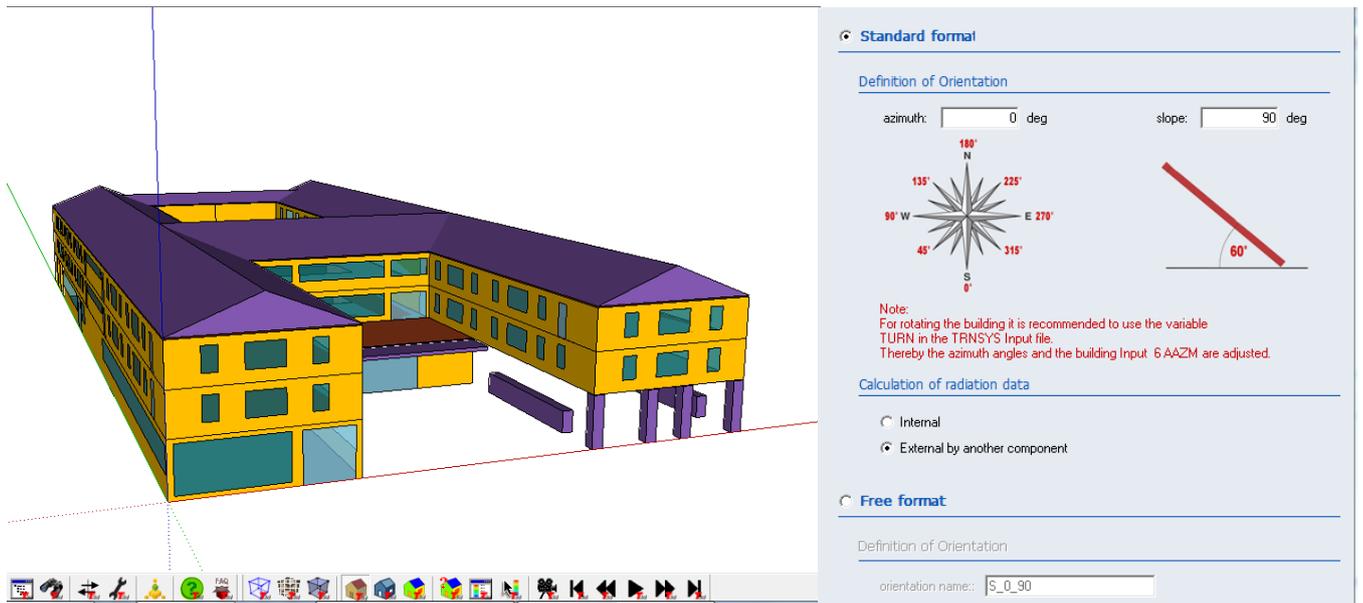


Figura 8-10 Corrección de la orientación

Descripción general de huecos y cerramientos (Type 56: TrnBuild)

La definición de los cerramientos, se ha hecho en función de los planos AutoCAD y del pliego de condiciones redactado por el arquitecto. Con los planos, se averiguan los grosores y con el pliego de condiciones, la composición de cada uno de los cerramientos, cubiertas y huecos.

En el pliego de condiciones [8], se encuentran las siguientes especificaciones:

Fachadas

“Los materiales que componen las fachadas del edificio, tendrán cámara de aire siendo de ladrillo macizo en la Planta Baja y de ladrillo hueco en las Plantas 1ª y 2ª. Tendrán revestimiento de Granito recibido con mortero de cemento.”

Paredes interiores

“Las paredes interiores, serán también de ladrillo macizo en planta baja y ladrillo hueco en Plantas 1ª y 2ª. Los tabiques, serán sencillos de ladrillo hueco tomado con yeso.

El Hall principal de la Planta baja, llevará parte de sus paredes chapadas en granito pulido.”

Pavimentos

“Los pavimentos, serán de granito pulido en el Hall de la Planta baja, de terrazo en los vestíbulos, pasillos, salas de estudio, vestidores, dormitorios, pasillos y cuartos de aseo. Y de goma en escaleras. De baldosín en terrazas, de baldosa ranurada en pañol, y de losetas de hormigón tipo “TREFF” en porches cubiertos.”

Cubierta

“La cubierta estará compuesta por forjados formados con doble tablero de rasilla, capa de mortero con hidrófugo y teja curva. Todo ello construido sobre tabiquillos empalmados de ladrillo hueco con cemento (Que le darán pendiente).”

Entresuelo

“Los forjados de pisos y techos serán de tipo aligerado, compuestos de material cerámico hueco, suela cerámica pretensada y nervios de hormigón armado.”

Ventanas

“La cristalería será de luna securizada de 6 mm con marcos de ventanas y ventanales de aluminio.”

Cerramiento	U [W/m ² K]	Material	Espesor	Espesor total
MURO EXTERIOR DE 0.25 m	2.075	Mortero (cemento)	0.015	0.25
		Ladrillo hueco	0.05	
		Cámara de aire	0.1	
		Ladrillo hueco	0.05	
		Mortero (cemento)	0.015	
MURO EXTERIOR DE 0.4 m	1.772	Granito	0.02	0.4
		Mortero (cemento)	0.015	
		Ladrillo macizo	0.12	
		Cámara de aire	0.11	
		Ladrillo macizo	0.12	
MURO INTERIOR	2.596	Mortero (cemento)	0.015	0.102
		Ladrillo hueco	0.1	
		Yeso	0.001	
ENTRESUELO	2.688	Yeso	0.001	0.425
		Terrazo	0.03	
		Mortero (cemento)	0.015	
CUBIERTA	2.689	Hormigón armado	0.38	0.14
		Rasilla	0.03	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Rasilla	0.03	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Tejas cerámicas	0.05	

Con los datos expuestos en la tabla y sabiendo que los cristales son simples de 6 mm, ya puede definirse la envolvente térmica por completo. A continuación, se explica cómo se han volcado estos datos al TrnBuild.

Los cerramientos antes de aplicarlos a cada zona, deben definirse en el “Wall Type Manager”. Esta herramienta, consta de una librería muy completa de elementos con los que definir las capas de nuestros cerramientos, y ofrece también al usuario la posibilidad de crear sus propios componentes.

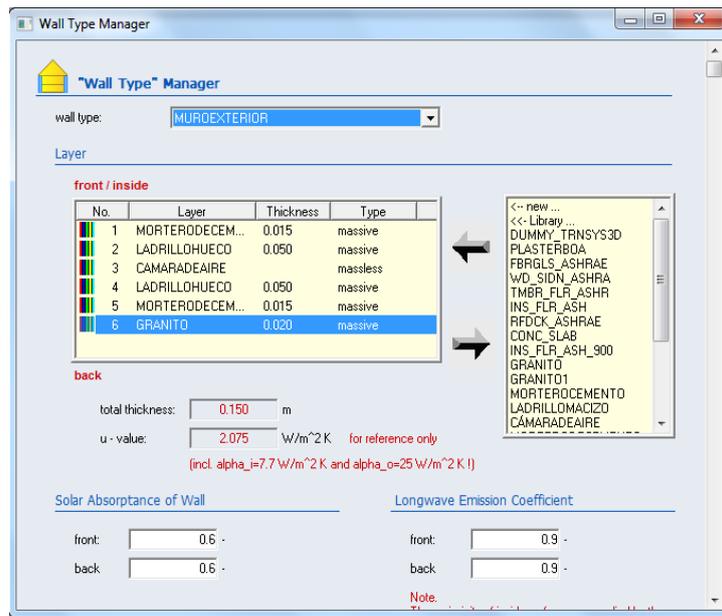


Figura 8-11 WallType Manager. Definición de cerramientos

Cuando el cerramiento está definido por completo, el programa nos dá un resultado de espesor total del cerramiento y un valor de transmitancia (Que és el que aparece representado en la tabla anterior)

Cuando ya estén definidos todos los muros, cubiertas y suelos que se van a utilizar, los asignamos a todas las superficies de cada zona.

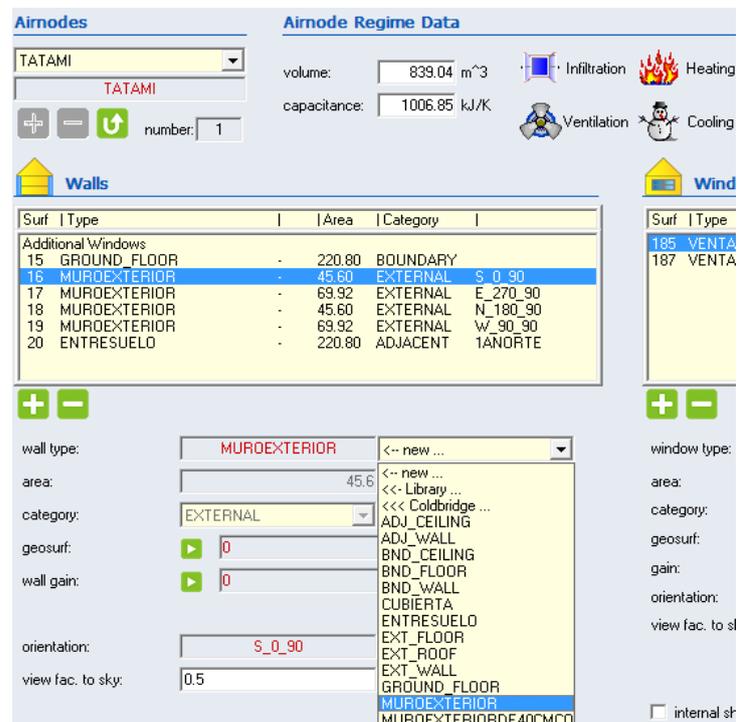


Figura 8-12 Asignación de cerramientos por zona

Cuando estén definidos los tipos de cerramientos de cada zona, solamente quedará definir los huecos o ventanas y repetir el proceso de asignación.

Para definir el tipo de ventanas de nuestro modelo, utilizaremos el “Window Type Manager” en el que el procedimiento será muy similar. Tal y como viene definido en el Pliego de Condiciones, [8] la cristalería es simple de 6 mm con marcos de aluminio.

Las especificaciones más concretas en cuanto a las ventanas, han sido obtenidas de trabajos previos. [7]

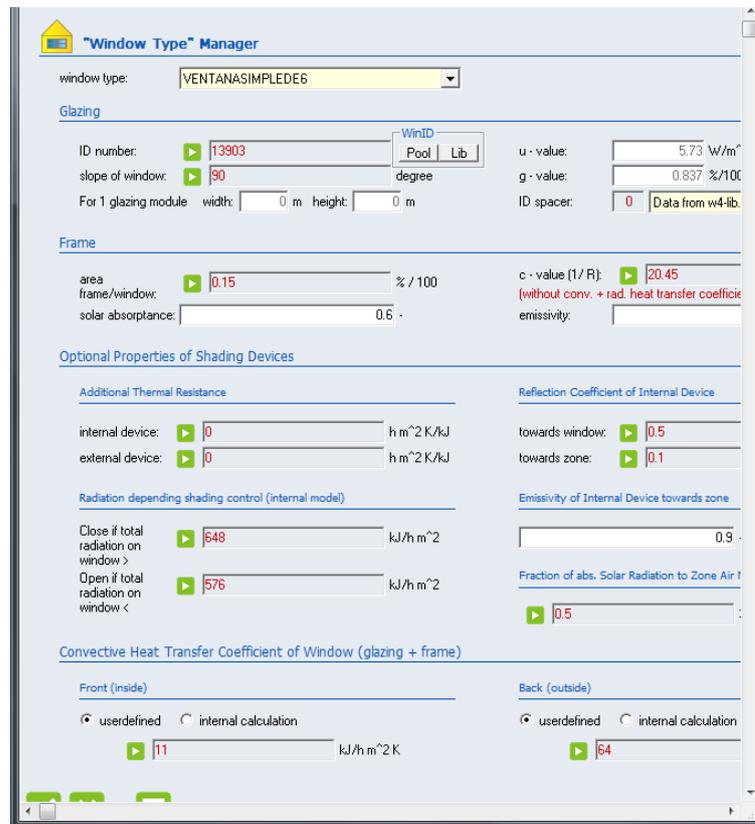


Figura 8-13 WindowType manager. Definición de huecos

Una vez editadas las ventanas, que en nuestro caso hemos llamado: “VENTANASIMPLEDE6”, loas asignaremos a cada uno de los huecos del edificio.

Cálculo de infiltraciones (Type 571) v1

Las infiltraciones son el siguiente input del modelo que se ha definido. Hay que destacar que muy probablemente, sea este, uno de los puntos más críticos del trabajo, ya que los resultados finales de demanda térmica, varían mucho en función de las infiltraciones que se definan.

Para definir las infiltraciones, se ha utilizado un Type específico para el cálculo de infiltraciones, desarrollado por la ASHRAE. El type es capaz de calcular la tasa de infiltraciones por zona a partir de un modelo semi-empírico (denominado método del K1, K2, K3). Los resultados obtenidos mediante éste método, pueden ser considerados como la forma más precisa de calcular infiltraciones, sin necesidad de recurrir a mediciones aparatosas como las del “Blower Door Test”

Para realizar sus cálculos, este elemento sólo requiere que se le proporcionen los siguientes datos:

$$ACH = K1 + K2 \times (T_{zone} - T_{amb}) + K3 \times WindSpeed$$

Los datos de T_{amb} y $WindSpeed$ se obtienen del fichero de WeatherData de Trnsys, el de T_{amb} se obtiene como un Output del TrnBuild, y finalmente, los coeficientes de infiltraciones K1, K2 y K3 se introducen según la tabla:

Construcción	K1	K2	K3	Descripción
Ligeras	0.1	0.011	0.034	Construcciones nuevas en las que se han tomado medidas para prevenir las infiltraciones
Medias	0.1	0.017	0.049	Construcción llevada a cabo mediante métodos de construcción tradicional
Grandes	0.1	0.023	0.07	Evidencias de construcción pobre o antiegua

Figura 8-14 Coeficientes de infiltración sugeridos. Fuente ASHRAE Handbook infiltraciones

Cálculo de infiltraciones v2 (Basado en cálculos CALENER)

Este segundo método, ha sido el empleado en la simulación. Los valores de infiltración han sido obtenidos gracias a una página web de un proveedor del software de certificación energética Calener [12]

El siguiente formulario permite calcular la tasa de infiltraciones conforme el documento *Condiciones técnicas de los procedimientos para la evaluación de la eficiencia energética de los edificios* que establece los criterios de cálculo aplicables tanto al HE como a la calificación energética y son los que implementa la Herramienta Unificada Lider-Calener.

Edificio nuevo Edificio Existente

Número de viviendas (0 si es terciario): Ventilación mecánica (ren/h):

Volumen (m³): Área de fachadas (m²): Área de cubiertas (m²):

Área de huecos (m²): Área de lucernarios (m²): Área de puertas (m²):

Clase de permeabilidad. De los huecos: De los lucernarios:

Tasa de infiltraciones resultante (ren/h):
0.555

Figura 8-15 Captura de Web Aurea: Cálculo de infiltraciones (Calener)

Como puede observarse en la figura anterior, el procedimiento de cálculo es muy simple: Se introducen los datos de la cabecera: Volumen de Zona, áreas de fachadas, cubiertas, huecos y lucernarios, y finalmente, unos valores de permeabilidad según la antigüedad de la construcción (50, 27, 9 o 3)

Clase	Permeabilidad al aire a 100 Pa (46 km/h) (m³/h·m²)	Presión máxima de ensayo Pa (km/h)
0	Sin ensayar	Sin ensayar
1	≤ 50	150 (56 km/h)
2	≤ 27	300 (80 km/h)
3	≤ 9	600 (113 km/h)
4	≤ 3	600 (113 km/h)

Figura 8-16 Valores de permeabilidad de ventanas

Una vez introducidos todos los datos, los valores de infiltración resultantes, en tasas de renovación/hora son los siguientes:

ZONA	BIBLIOTECA	HALL PB	HALL 1-2	ALAS N-S	TATAMI	ASEOS ALAS	ALMACENES-(CALDERA-ALMACEN	
VOLUMEN	3173.7	1656.9	853.5	2865.6	839.04	94.96	65.53	122.33
AREA FACHADA	1353.7	372.23	385.495	1455.79	231.04	80.27	62.32	76.95
VENTILACIÓN MECÁNICA	0	0	0	0	0	0	0	0
AREA HUECOS	171.22	47.8	31.31	103.98	75.12	1	0	3.712
AREA LUCERNARIO	0	0	0	0	0	0	0	0
AREA PUERTAS	20.9	28.71	0	6.75	31.64	0	7.26	7.25
CLASE PERMEABILIDAD	50	50	50	50	50	50	50	50
CUBIERTAS	835	289.32	289.32	971.4	220	32.19	32.29	32.19
TASA INFILTRACIONES	0.542	0.325	0.552	0.6	0.526	0.923	1.504	0.826

Figura 8-17 Resultados de infiltraciones (en base a Calener)

Cálculo de cargas térmicas internas por ocupación (Type 56: TrnBuild)

A continuación, se detallará el modo como se han tenido en cuenta las cargas internas por ocupación en el edificio.

En primer lugar, se nombran y añaden nuevos inputs en el edificio desde el TrnBuild. Se han nombrado como: “OCUPACIONBIBLIO”, “OCUPACIONHALLPB”, etc. Podemos verlo en la siguiente figura:

The screenshot shows the 'Inputs' window in Trnsys. It is divided into two sections: 'Standard Inputs' and 'Userdefined Inputs'.

Standard Inputs:

No	Name	Unit	Description	Old Name
1	TAMB	C	AMBIENT TEMPERATURE	
2	RELHUMAMB	%	RELATIVE AMBIENT HUMIDITY	
3	TSKY	C	EFFECTIVE SKY TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCHANG...	
4	TSGRD	C	EFFECTIVE GROUND TEMPERATURE FOR LONGWAVE RADIATION EXCH...	
5	AZEN	degrees	SOLAR ZENITH ANGLE	
6	AAZM	degrees	SOLAR AZIMUTH ANGLE (0=facing equator, 90=facing west, -90=270=facing ...	
7	GRDREF	any	GROUND REFLECTION FOR SKY DIFFUSE RADIATION SHADING	GRDREF
8	INFILTRACIONBIBLIOTE	any	INPUT	INFILTRACI

Userdefined Inputs:

No	Name
14	MAX_ISHADE
15	MAX_ESHADE
16	OCUPACIONBIBLIO
17	OCUPACIONHALLPB
18	OCUPACIONHALL1
19	OCUPACIONHALL2
20	OCUPACION1N
21	OCUPACION1S
22	OCUPACION2N
23	OCUPACION2S

Figura 8-18 Ventana de Inputs

Una vez definidos los nuevos inputs, establecemos unos valores de ocupación horarios con el Type14.

Cada zona tiene distintos niveles de ocupación, ya que, no todas las brigadas cuentan con el mismo número de alumnos. Así pues, habiendo averiguado el número de alumnos de cada brigada y la zona destinada a cada una, se ha definido el horario para el cual los alumnos se encuentran obligatoriamente estudiando o durmiendo, estableciendo, para esas horas, una ocupación total por parte de esa brigada.

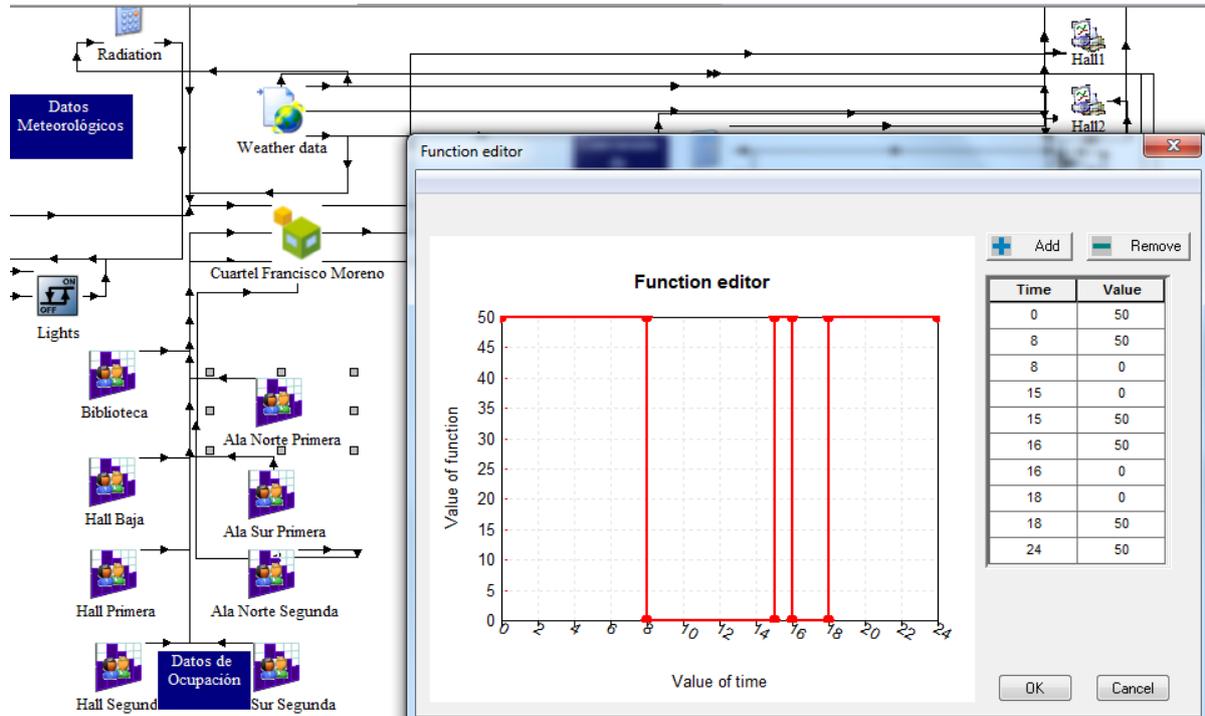


Figura 8-19 Definición horarios de ocupación

Una vez definidos los valores de estos types, se introducen como input en el Type 56. Con esto hecho, sólo queda definir la ocupación en “Gains” dentro del TrnBuild.

Cálculo de las cargas térmicas internas por iluminación

Otro de los factores que suponen un aporte térmico en los interiores del edificio, es la iluminación.

Definirlo en TrnBuild es muy intuitivo, y se hace también desde el apartado “Gains” en el punto “Artificial Lighting”.

En este apartado, hay que definir la superficie de suelo “related floor área” y la concentración de luz por metro cuadrado con “total heat gain”. En éste último apartado, da opción de elegir entre una variedad de lámparas. En nuestro caso, la que se ha definido es la de 13 W/m² EVG direkt:

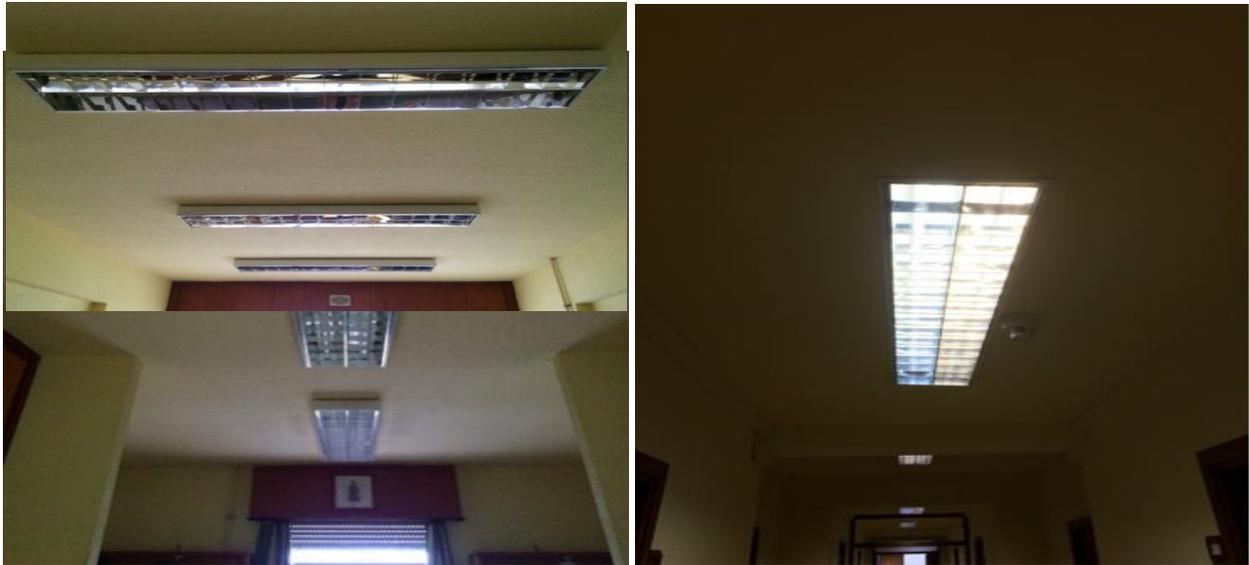


Figura 8-20 Detalle iluminación artificial Francisco Moreno

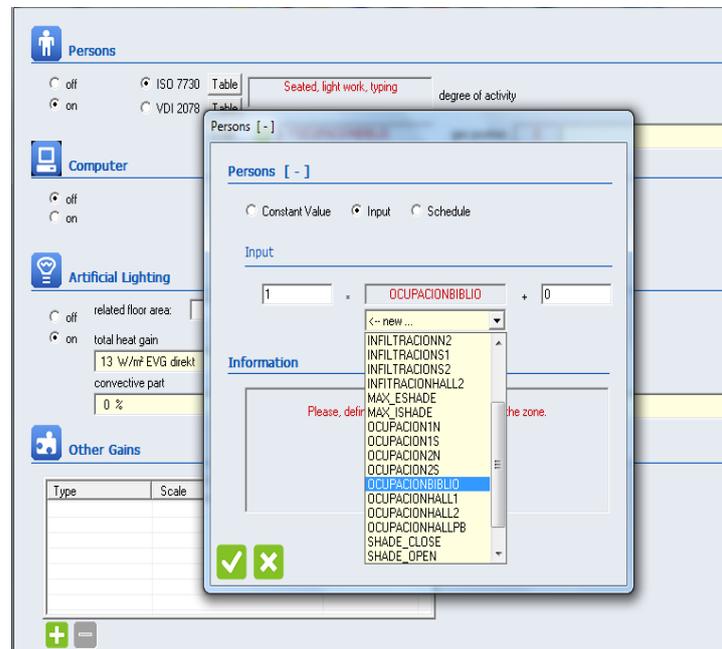


Figura 8-21 Asignación horarios de ocupación por zonas

En cuanto a los horarios de iluminación, se ha diferenciado entre:

- **Zonas que no tienen ocupación**, y que, por tanto, se han considerado como “siempre” apagadas.
- **Zonas de habitabilidad y Halls** “ILUMINACIONHABITABLES”, que están iluminadas durante todo el día, excepto en las horas de “silencio” y por las noches.
- La **biblioteca** “ILUMINACIONBIBLIO” según sus horarios de apertura.

Definición del sistema de calefacción

El sistema de calefacción puede ser definido desde TrnBuild o con un Type específico de la librería de Trnsys. Dada la intuitiva interfaz que nos ofrece el TrnBuild, se ha optado por esta primera opción, ya que, entre dos opciones igualmente válidas, es preferible escoger aquella que de menos opciones a equivocarse y permita conseguir mismos resultados en un tiempo menor.

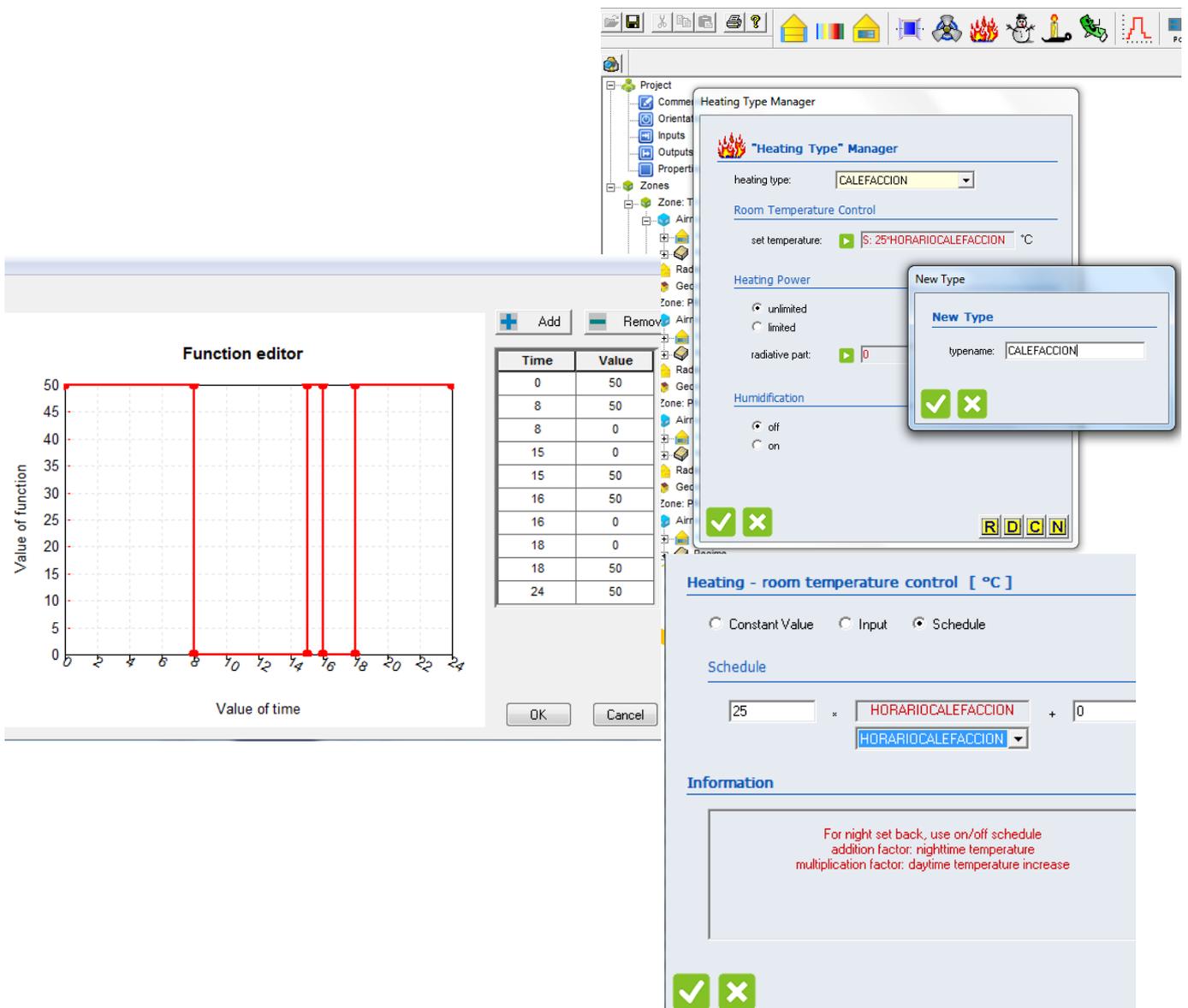


Figura 8-22 Definición de horarios de calefacción

Lo primero que hemos definido del sistema han sido los horarios de funcionamiento del sistema de calefacción, a través de un Type específico de Trnsys (Type 14). Como se ha mencionado anteriormente, el sistema carece de termostatos y funciona de forma ininterrumpida, según el siguiente horario: De 05:00 a.m. a 08:00 a.m. y de 08:00 p.m. a 12:00 a.m.⁷

Una vez establecidos los horarios, los hemos introducido como input en el modo de funcionamiento del apartado de calefacción de TrnBuild.

Es necesario también definir una temperatura de confort si queremos que el programa nos de valores de aporte de energía Qheat, de modo que hemos establecido esta temperatura en 25°C, que es, por lo general, la temperatura media que suele haber en el Cuartel.

Tras estos simples pasos, queda definido el sistema de calefacción. Una vez hecho esto, el programa podrá hacer cálculos de demanda de energía de calefacción.

Si queremos que Trnsys exporte estos valores a través de sus gráficas, o de un documento de texto, primero hay que establecer en el apartado de Outputs de TrnBuild, que Qheat sea uno de los valores que “salgan” del type junto con los que ya lo hacen por defecto (Temperaturas, Qsens, etc.)

Una vez definido el Output, tendremos acceso de Trnsys a los resultados de demanda de calefacción.

Es necesario mencionar que los valores que proporciona Trnsys de Qheat vienen, por defecto, en unidades de KJ/h, por lo que, es necesario interponer un “Type equation” que multiplique el resultado por (3.6/1000) para obtener los valores en kWh, que son las unidades en las que vienen los consumos de las facturas, y que son las más comunes.

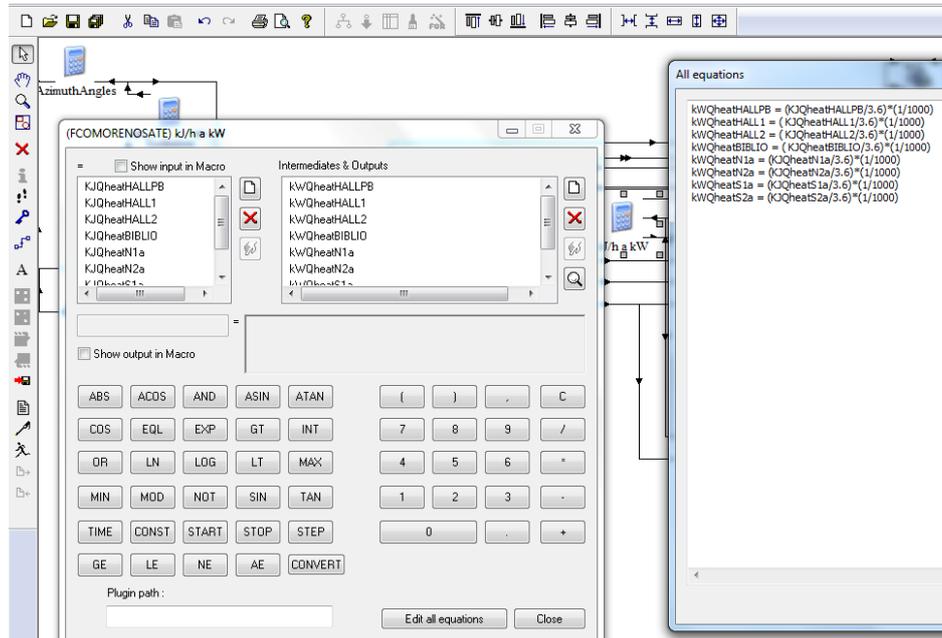


Figura 8-23 Type Ecuación: Conversor KJ/h - kWh

⁷ En la simulación se han considerado horarios, pero no los meses de calefacción. Se considera válida la simplificación ya que al subir las temperaturas, la demanda calculada en esos periodos es nula o desestimable.

Una vez definida la conversión de cada output, se envían los resultados a unos types (Types 65b), en los que se representarán y exportarán a documentos los resultados. Además de los resultados de Qheat, se representan la T exterior y T interior en [°C] para poder comprender mejor la evolución de las demandas de calefacción.

A continuación se muestra un ejemplo de gráfica devuelta por el plotter.

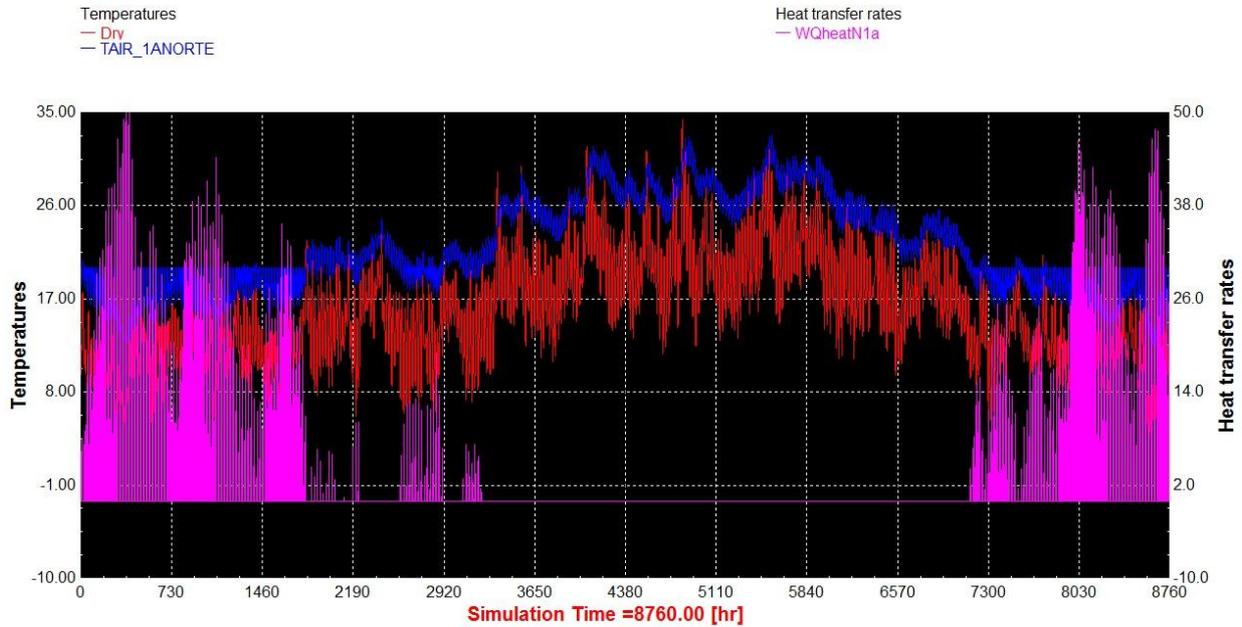


Figura 8-24 Grafica Trnsys de resultado

De este modo, ya podemos conocer los datos de demanda en la situación actual del edificio, pero como se mostrará más adelante, mediante algunas modificaciones de la envolvente tales como la adición de aislantes o el cambio de cristalería, se podrá apreciar la gran influencia que tiene el estado de envolvente térmica en la demanda.

9 PROPUESTA DE ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN DE ENVOLVENTE Y APLICACIÓN

Los aislantes de los edificios permiten mantener un ambiente más constante en el interior de zonas térmicas, de modo que las condiciones varíen lo menos posible ante la variabilidad de las condiciones climatológicas exteriores. Ello, permite reducir notablemente los consumos energéticos tanto de calefacción, como de refrigeración.

9.1 Aislamiento en las cámaras de aire de fachadas exteriores

La insuflación de aislante térmico en las cámaras de aire, es otra solución constructiva muy frecuente en la rehabilitación de envolventes térmicas. Es una manera sencilla de mejorar la envolvente de edificios antiguos cuando cuentan con cámaras de aire en sus fachadas.

El fundamento de este tipo aplicaciones es muy sencillo. Consiste en introducir aislamiento a presión hasta completar la cámara o llegar a una cantidad que ya asegure la mejora de la eficiencia energética. Puede aplicarse tanto desde exteriores como desde interiores, aunque es más frecuente hacerlo desde exteriores ya que las molestias que generan las obras a los inquilinos son mucho menores.

Por lo general, está técnica se lleva a cabo cuando se ha descartado la opción de implantar sistemas de aislamiento sobre el exterior de la fachada (Como es el caso de los sistemas SATE)

El aislante térmico aplicado en las cámaras de aire, puede ser de varios tipos, como la lana mineral (muy frecuente) o la celulosa entre otros.

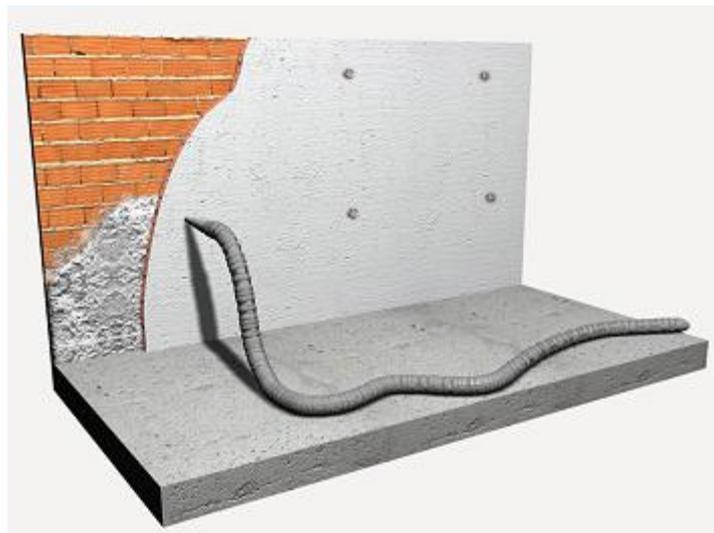


Figura 9-1 Sistema de insuflación de aislantes en cámaras de aire

Para la simulación de la demanda energética tras la aplicación de este tipo de soluciones, se ha optado de nuevo por basar los cálculos en datos facilitados de la empresa Rockwool.

Como vemos en el presupuesto (Anexo V: Presupuestos), la insuflación se haría desde el interior del edificio. El motivo por el cual he considerado mejor opción hacerlo de este modo es debido a que la cámara de aire, en el caso del Cuartel Francisco Moreno, es mucho más accesible desde el interior, tal y como puede deducirse de las siguientes tablas:

Cerramiento	U [W/m ² K]	Material	Espesor	Espesor total
MURO EXTERIOR DE 0.25 m	0.373	Mortero (cemento)	0.015	0.25
		Ladrillo hueco	0.05	
		Nódulos de lana de roca, Rockwool 001	0.1	
		"ROCKWOOL"		
		Ladrillo hueco	0.05	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Granito	0.02	

Cerramiento	U [W/m ² K]	Material	Espesor	Espesor total
MURO EXTERIOR DE 0.4 m	0.636	Mortero (cemento)	0.015	0.4
		Ladrillo macizo	0.12	
		Nódulos de lana de roca, Rockwool 001	0.11	
		"ROCKWOOL"		
		Ladrillo macizo	0.12	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Granito	0.02	

Para aplicar las modificaciones al Trnsys, hemos llevado a cabo el mismo procedimiento que para la simulación de la implantación del sistema SATE, es decir, hemos utilizado el edificio actual como punto de partida, cambiando únicamente la composición de los cerramientos (Cambio de cámara de aire por aislamiento con lana de roca).

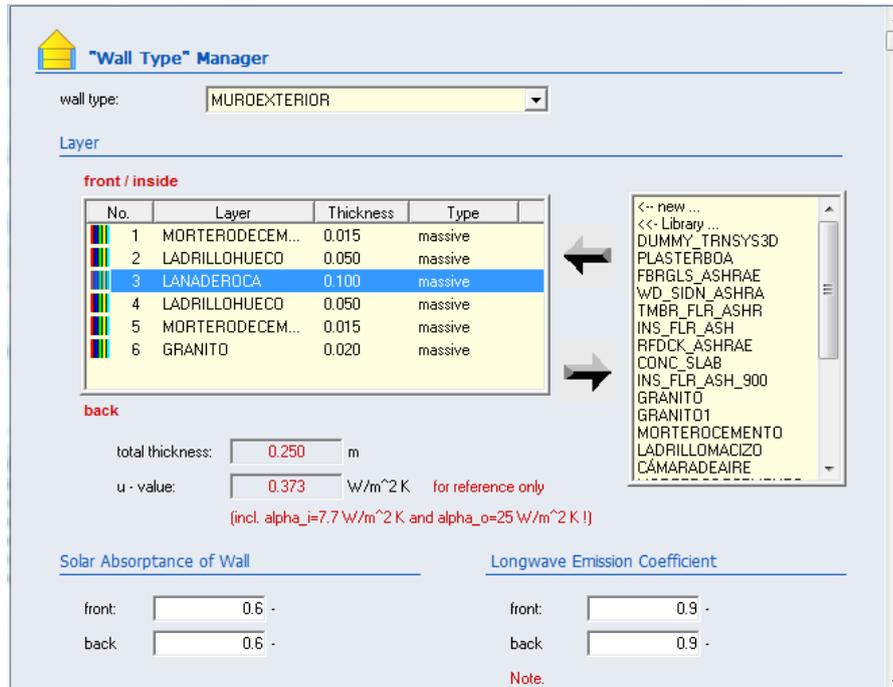


Figura 9-2 Captura Wall Type Manager: Adición de aislamientos

9.2 Sustitución de superficies acristaladas

La renovación de vidrios en huecos/ventanas de los edificios sea quizás una de las más efectivas acciones para la mejora de la eficiencia energética de construcciones.

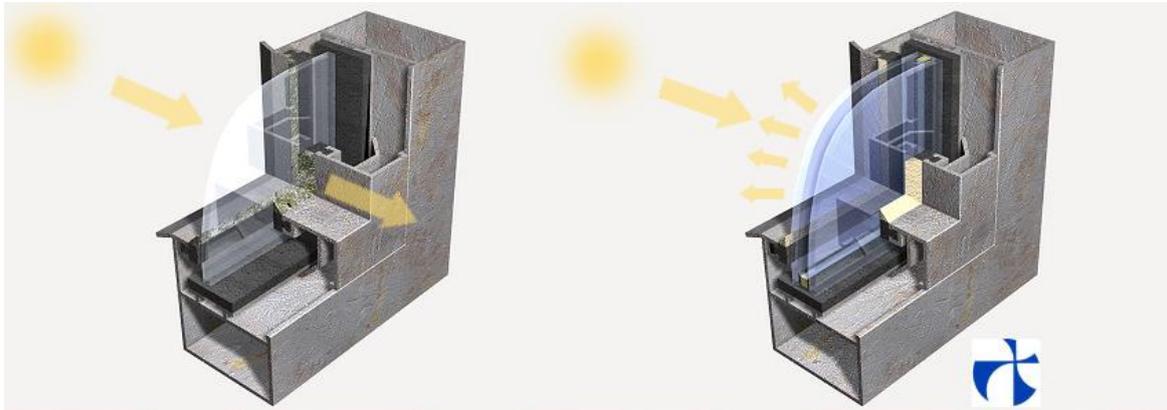
En general, la mayoría de construcciones del parque edificatorio nacional, no cuentan con ventanas aislantes, ello conlleva unas prestaciones térmicas muy pobres. La sustitución de los vidrios monolíticos por los de doble acristalamiento o aislantes (también denominados de Baja emisividad) puede aportar grandes ahorros en la demanda energética.

Los huecos son quizás la gran debilidad de cualquier envolvente térmica, ya que, es a través de ellos por donde se producen las grandes fugas de calefacción.

Aunque esta solución haya sido propuesta en último término, dada la fácil actuación y gran repercusión de su mejora, podría haberse presentado como la primera solución a valorar técnica y económicamente.

Para el estudio de sustitución de vidrios, hemos obtenido datos de la empresa control glass (Anexo V: Presupuestos)

La modificación que se va a realizar es la sustitución de un cristal monolítico de 6mm por un acristalamiento doble de baja emisividad de 6/8/6 mm tal y como se puede ver en la siguiente ilustración:



En esta ocasión, no solamente se ha modificado el tipo de cristal aplicado al modelo, también se han calculado de nuevo las infiltraciones ya que, aunque no se hayan sustituido los marcos, la mejora de estanqueidad con la reforma podría mejorarse hasta reducir el valor de infiltraciones a una tercera parte (estimación).

10 RESULTADOS

10.1 Análisis de la demanda energética actual con TRNSYS

En este apartado se expondrán y evaluarán los resultados de demanda térmica de calefacción proporcionados por Trnsys. El periodo de estudio comprende todo un año (8760 h), y se divide en los periodos de facturación relativos al año 2015.

Finalmente, se procederá a comentar y contrastar los resultados con los datos de consumos del año 2015 proporcionados por el servicio de mantenimiento de la Escuela Naval.

Hay que tener en cuenta que los datos de consumo energético, son en base al consumo de las calderas, que como hemos mencionado anteriormente en la Descripción del edificio: Cuartel Francisco Moreno, dan servicio tanto al sistema de calefacción como al de ACS. Por tanto, nos servirán únicamente para hacernos una idea aproximada del orden de magnitud esperado de los resultados, sin servir de referencia exacta.

A continuación se representan los periodos de facturación correspondientes al año 2015 y en los que nos hemos basado para evaluar resultados parciales de Trnsys:

(1)	Enero: 23/12/2014 a 22/01/2015
(2)	Febrero: 22/01/2015 a 16/02/2015
(3)	Marzo 16/02/2015 a 24/03/2015
(4)	Abril; 24/03/2015 a 23/04/2015
(5)	Mayo: 23/04/2015 a 21/05/2015
(6)	Junio: 21/05/2015 a 23/06/2015
(7)	Julio: 23/06/2015 a 22/07/2015
(8)	Agosto: 22/07/2015 a 19/08/2015
(9)	Septiembre: 19/08/2015 a 23/09/2015
(10)	Octubre: 23/09/2015 a 22/10/2015
(11)	Noviembre: 22/10/2015 a 24/11/2015
(12)	Diciembre: 24/11/2015 a 22/12/2015
(13)	Enero : 22/12/2015 a 21/01/2016

10.1.1 Demanda global y validación

En la siguiente gráfica, figuran los resultados obtenidos en la simulación: en el eje de abscisas están los distintos periodos de demanda, y en el de ordenadas, los valores de demanda de calefacción mensual expresados en kWh.

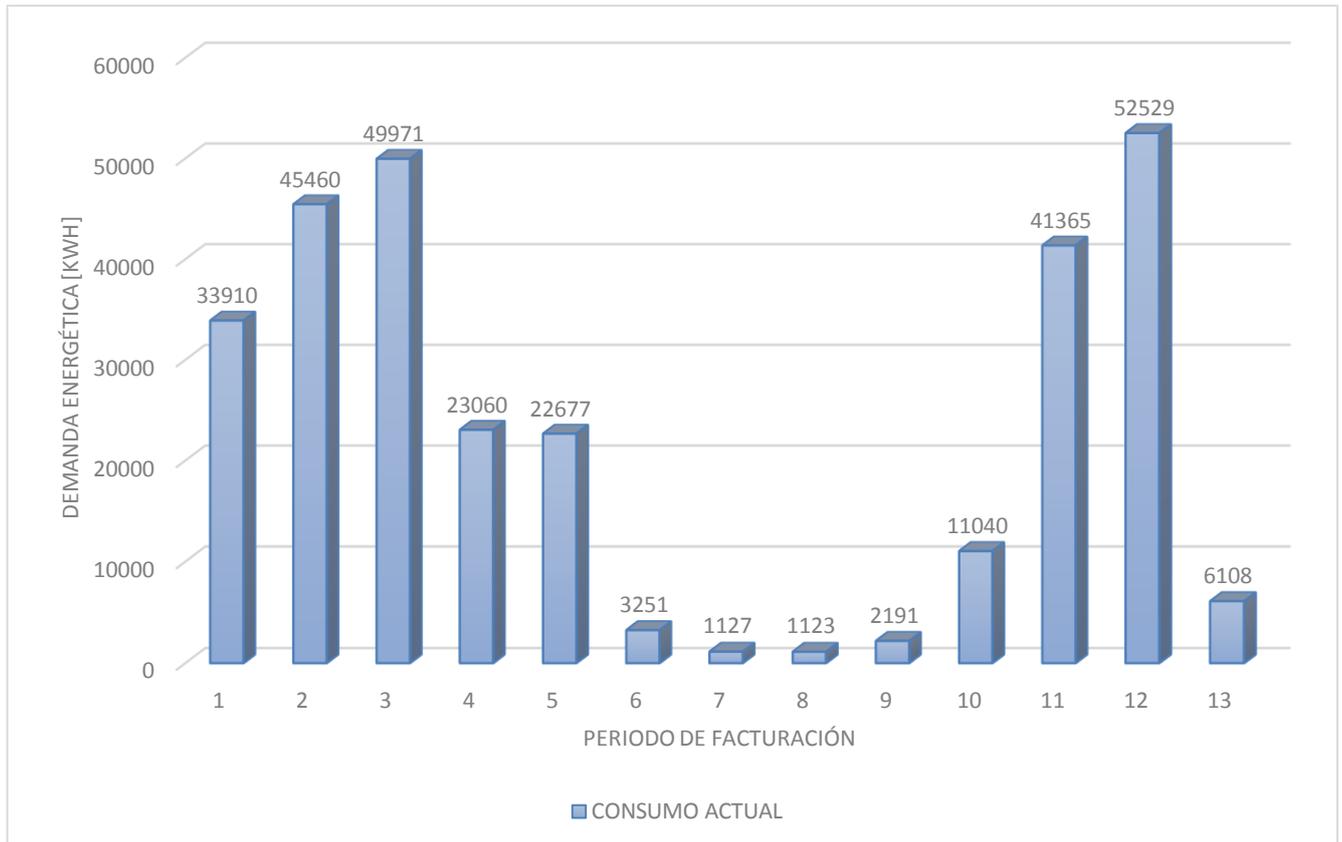


Figura 10-1 Gráfica de demanda de calefacción actual

Para la comprobación de los resultados obtenidos en la simulación, nos basaremos tanto en los consumos periódicos de las calderas como en los cálculos teóricos de consumo de ACS para el mismo edificio a lo largo del año. Estos datos han sido estudiados en otro trabajo de fin de grado de forma simultánea [13].

Influencia de la envolvente en demanda térmica y mejoras del Cuartel Francisco Moreno mediante simulación Trnsys.

CONCEPTO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Q (KWh) consumido en caldera	54000	132830	80630	48770	38350	21290	11080	11840	24500	18920	47170	63180	47230
Q (termias) consumido teorico ACS	6706	5940	6319	5866	5932	4493	2837	58	5741	6061	6115	6706	6404
Q(KWh)consumido teorico ACS	7792	6902	7343	6816	6893	5221	3297	67	6671	7043	7106	7792	7441
Q (KWh) calefaccion estimación real	46208	62964	73287	41954	31457	16069	7783	11773	17829	11877	40064	55388	39789
Q (KWh) edificio de referencia (TRNSYS)	33910	45460	49971	23060	22677	3251	1127	1123	2191	11040	41365	52529	6108
Diferencia	12297	17504	23316	18894	8780	12818	6657	10649	15638	837	-1301	2859	33681

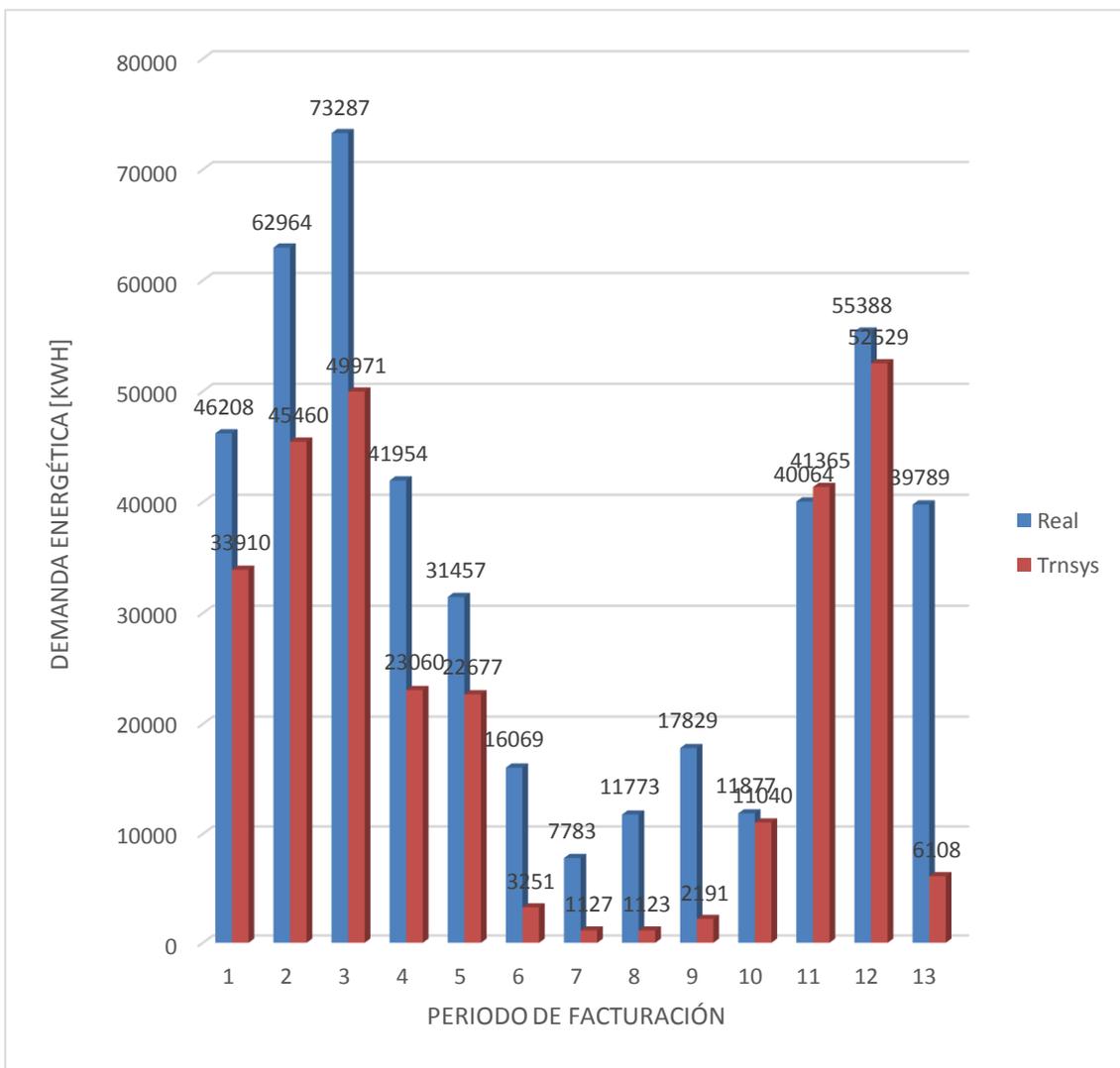


Figura 10-2 Gráfica comparativa de consumos: Trnsys vs real facturado

En la primera fila de la tabla, se relacionan los distintos periodos de referencia. En la segunda, los datos de consumos [kWh] de las dos calderas según las facturas⁸.

En la tercera, encontramos los datos de consumos de ACS obtenidos mediante tablas referencia acordes con la normativa de consumo de ACS en cuarteles militares. Estos valores, vienen expresados en termias, por lo que, en la siguiente fila, se aplica un factor de conversión para obtener los mismos valores en nuestras unidades de trabajo, los kWh.

En la sexta fila se encuentran los valores resultantes de la simulación en Trnsys.

Entre los meses comprendidos entre 6 y 9, las cifras que se manejan son menores, por lo que, en esas fechas, el margen de error en el cálculo de la simulación puede considerarse bajo dadas las circunstancias.

A pesar de que los valores correspondientes a la temporada estival sean de dudosa fiabilidad, ello no supone un gran problema, dadas las características de estos periodos, en los que, la ocupación se reduce a un campamento de jóvenes del Colegio de Huérfanos de la Armada y a pocos alumnos recuperando asignaturas. En esos periodos, se da un bajo consumo de ACS y el sistema de calefacción está apagado (Consumo nulo de calefacción). A pesar de que tengamos valores de calefacción asociados a estos periodos, estos valores son muy bajos, y para la aproximación que necesitamos, se puede obviar el error 7.

10.1.2 Demanda por zonas

Como es natural, no todas las zonas térmicas del edificio requerirán el mismo aporte de energía para alcanzar la temperatura de consigna. Las zonas más demandantes son, por orden:

- 1- Biblioteca (64976 kWh)
- 2- Ala Norte 2ª Planta (60813 kWh)
- 3- Ala Sur 2ª Planta (54619 kWh)
- 4- Ala Norte 1ª Planta (45126 kWh)
- 5- Ala Sur 1ª Planta (39818 kWh)
- 6- Hall 2ª Planta (19162 kWh)
- 7- Hall Planta Baja (18902 kWh)
- 8- Hall 1ª Planta (13122 kWh)

Evidentemente las zonas con mayor demanda son las que tienen mayor volumen (Alas de habitabilidad y Biblioteca). Por ello, la Biblioteca (3173 m^3) requiere mayor aporte de energía que las Alas de habitabilidad (2865 m^3). Aunque a priori puede dar la impresión de que el volumen de las alas es mayor, no es así, aunque la sección sea menor, la altura de la biblioteca es mayor.

Por otro lado, dentro de las zonas con volúmenes muy similares, como es en el caso de las 4 alas de habitabilidad, se produce una mayor demanda en aquellas que están más elevadas y orientadas al Norte. (A pesar de tener valores distintos, todas ellas se encuentran dentro de un rango de valores muy próximos).

Una vez obtenidos los valores de demanda para mantener las condiciones de confort, tenemos ya un punto de referencia sobre el que establecer una comparativa entre los valores asociados a distintas variaciones en la envolvente, pudiendo así, evaluar la medida en la que ésta influye en la demanda.

⁸ Es importante reseñar que el valor de consumos del segundo periodo no se corresponde con el marcado según factura debido a un error en la lectura de contador de ese mes. Por ello, se ha hecho una interpolación de valores para obtener un resultado coherente.

10.2 Aislamiento fachada con sistema SATE

Durante el desarrollo de este apartado, se expondrán las características principales de este tipo de aislamientos, a fin entender el tipo de solución constructiva propuesta, y los motivos por los que la hemos elegido. Una vez definido el sistema, se expondrá el procedimiento de aplicación del sistema SATE al modelo creado en Trnsys, que únicamente variará las características de los cerramientos exteriores, dado que el resto de inputs se mantendrán tal y como se han definido en el modelo explicado anteriormente (Procedimiento de simulación y cálculos)

Finalmente, sólo nos restará presentar una tabla de resultados con un análisis de éstos (Resultados Sistema SATE) y el presupuesto estimado para la realización de la obra así como el período de amortización (Estudio económico básico de viabilidad).

SATE son las siglas de Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior. Es un sistema de aislamiento de fachadas exteriores utilizado para la rehabilitación de la Envolvente Térmica de Edificios. [14]

Con este tipo de aislamientos, se revisten y aíslan las zonas térmicas, tengan la geometría que tengan. De este modo se reducen la mayoría de puentes térmicos.

Las principales ventajas que presentan son las siguientes:

- **Eficiencia:** Ya que se ha demostrado que por lo general: “se consiguen ahorros netos de energía próximos al 30%. Se estima que la inversión realizada para la instalación del sistema se amortiza en los 5 años siguientes”
- **Fácil Instalación:** La incorporación de estos sistemas en las viviendas no genera molestias a los inquilinos, ya que, todas las actuaciones, se hacen desde el exterior, por lo que no es necesario su desalojo.

Se ha optado por implantar este sistema porque supone una solución constructiva tan recomendable como frecuente entre las empresas dedicadas a la rehabilitación de la envolvente térmica.

El sistema SATE está formado por varias capas tal y como se muestra en la siguiente figura:

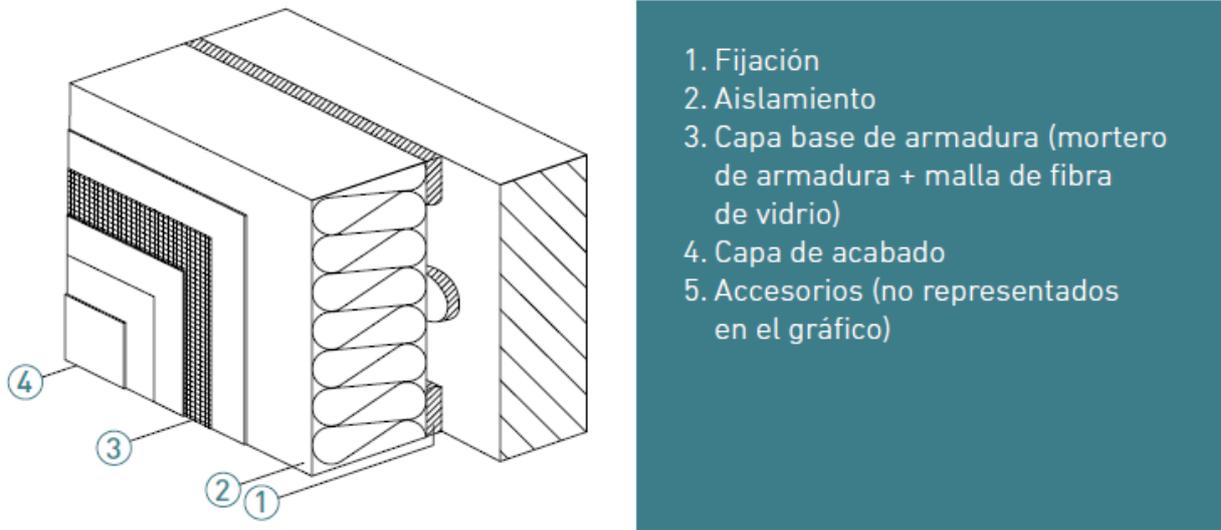


Figura 10-3 Estructura de sistema SATE

El esquema presentado es muy genérico, por lo que no se podría haber definido el aislamiento en el modelo sin tener más datos.

Por ello, ha sido necesario un proceso búsqueda de las distintas alternativas ofertadas por empresas especializadas para poder implantar una en concreto.

La empresa seleccionada ha sido la multinacional Rockwool, especializada la rehabilitación de edificios, que cuenta con una buena cobertura en toda la zona peninsular. En la página web [15] se puede encontrar información relativa a las distintas opciones de SATE posibles, no obstante, se ha utilizado un presupuesto (Anexo V: Presupuestos) de un sistema concreto de la misma empresa extraído de una página especializada en el cálculo de presupuestos. [16]

Los datos extraídos del presupuesto han sido una referencia que, además de aportar una idea del coste económico de la ejecución, nos han permitido concretar un sistema sobre el que aplicar en el modelo de la simulación.

De este modo, las fachadas exteriores quedarían como sigue a continuación:

Cerramiento	U [W/m ² K]	Material	Espesor	Espesor total
AISLAMIENTO SATE	1.42	Aislante ROCKSOL-E 501 (lana de roca)	0.05	0.06
		Capa Base de Mortero Polimerico	0.004	
		Malla de refuerzo	0	
		Mortero de adhesion	0.004	
		Capa de Acabado	0.002	
MURO EXTERIOR DE 0.25 m	1.42	Mortero (cemento)	0.015	0.25
		Ladrillo hueco	0.05	
		Camara de aire	0.1	
		Ladrillo hueco	0.05	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Granito	0.02	

Cerramiento	U [W/m ² K]	Material	Espesor	Espesor total
AISLAMIENTO SATE	1.27	Aislante ROCKSOL-E 501 (lana de roca)	0.05	0.06
		Capa Base de Mortero Polimerico	0.004	
		Malla de refuerzo	0	
		Mortero de adhesion	0.004	
		Capa de Acabado	0.002	
MURO EXTERIOR DE 0.4 m	1.27	Mortero (cemento)	0.015	0.4
		Ladrillo macizo	0.12	
		Camara de aire	0.11	
		Ladrillo macizo	0.12	
		Mortero (cemento)	0.015	
		Granito	0.02	

Una vez aclarado el sistema elegido, debemos aplicarlo en Trnsys. Como se ha explicado anteriormente, los cerramientos son lo único que se va a cambiar del modelo, por ello, partiremos de un archivo réplica del modelo actual sobre el cual trabajaremos, con todo lo que ello conlleva (mismas infiltraciones y cargas, mismas condiciones meteorológicas, etc.)

Una vez en el “nuevo” archivo, modificamos los cerramientos desde TrnBuild.

Una vez definidos los nuevos cerramientos, se guarda el nuevo archivo modificado (.bui) y actualizamos en el archivo Trnsys (.tpf) para poder ejecutar la simulación.

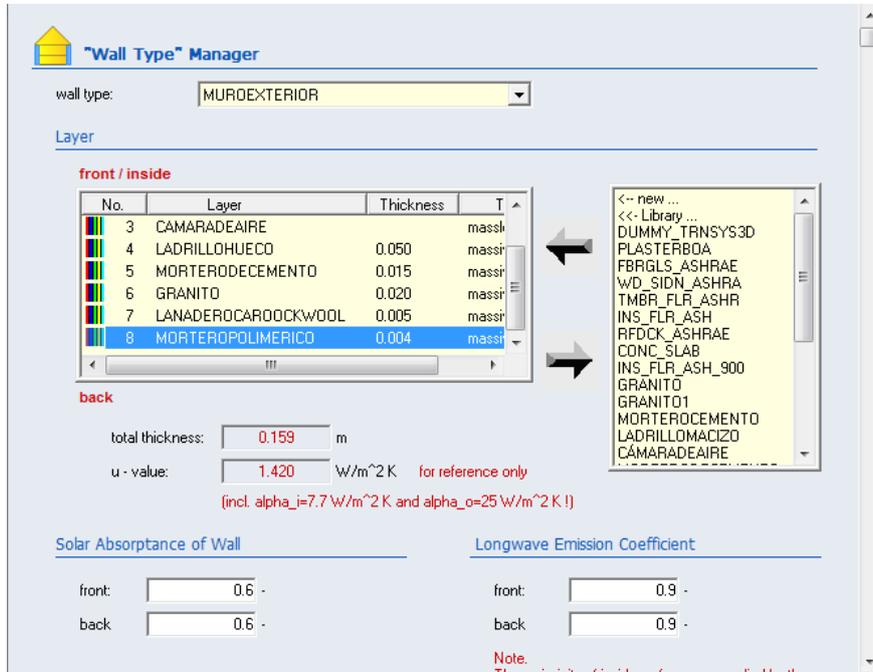


Figura 10-4 WallType Manager. Adición de aislante SATE

10.3 Análisis de la demanda energética de alternativas con TRNSYS

10.3.1 Sistema SATE

ESTADO	Demanda (calefacción) [kWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ACTUAL	286120	33910	45460	49971	23060	22677					11040	41365	52529	6108
SATE	155723	22228	28553	28171	7797	7957					2285	21373	33347	4011
Ahorro energético en kWh	130398	11682	16907	21800	15262	14721					8755	19992	19182	2097
Ahorro %	46%	34%	37%	44%	66%	65%					79%	48%	37%	34%
Ahorro energético en eur	8720	781	1131	1458	1021	984					585	1337	1283	140
Con IVA	10551	945	1368	1764	1235	1191					708	1618	1552	170

Figura 10-5 Resumen de ahorros SATE

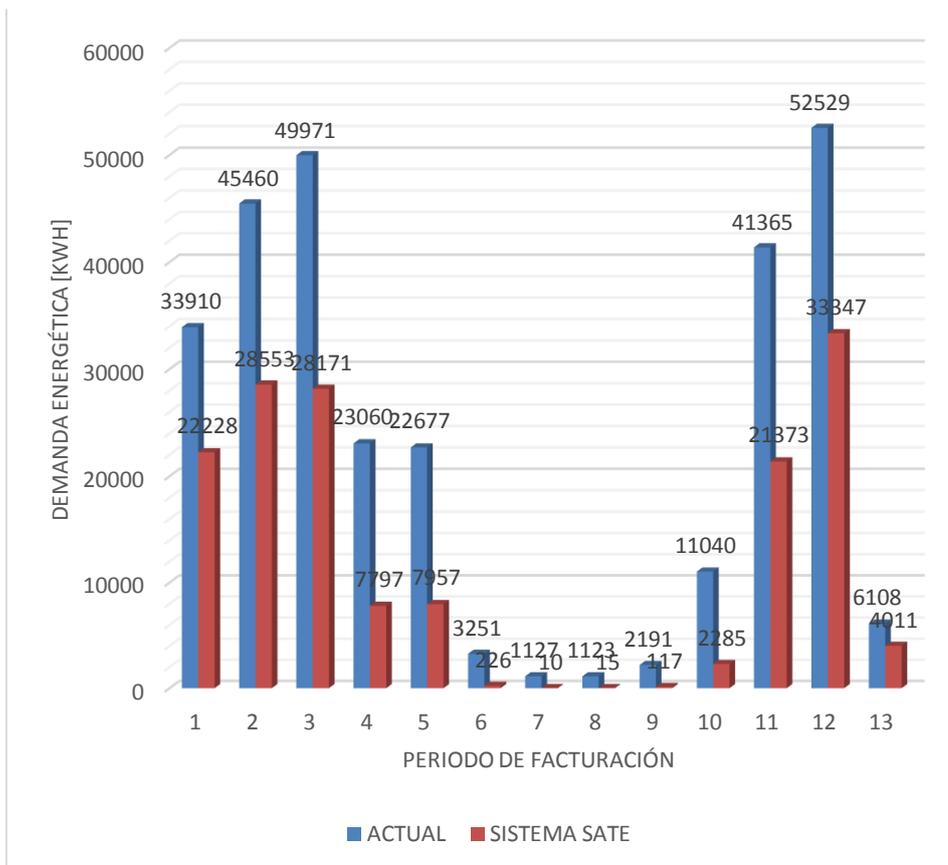


Figura 10-6 Gráfica comparativa: Demanda actual vs demanda SATE

Tal y como se observa en la tabla de resultados, la implantación de este tipo de sistemas de aislamientos supondría anualmente un ahorro notable en el consumo de energía de calefacción.

En la gráfica se observa claramente la gran diferencia en requerimientos de demanda energética entre el Cuartel con aislamiento SATE o sin él

10.3.2 Aislamiento de cámaras

CONCEPTO	Demanda energética (calefacción) [kWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ACTUAL	286120	33910	45460	49971	23060	22677					11040	41365	52529	6108
AISLA CÁMARA	231163	29337	38615	40928	16305	16027					6727	33214	44761	5250
Ahorro energético en kWh	54957	4573	6845	9044	6755	6650					4314	8151	7767	858
Ahorro %	19%	13%	15%	18%	29%	29%					39%	20%	15%	14%
Ahorro energético en eur	3675	306	458	605	452	445					288	545	519	57
Con IVA	4447	370	554	732	547	538					349	660	628	69

Figura 10-7 Resumen ahorros aislamiento cámara

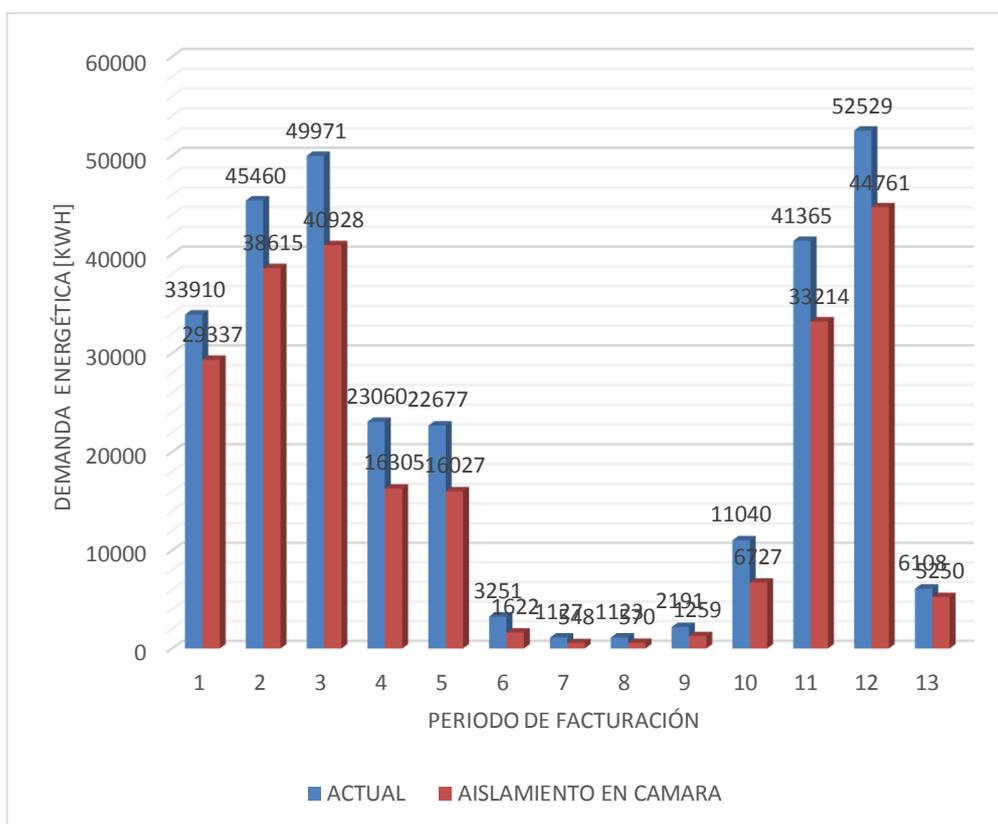


Figura 10-8 Gráfica comparativa: Sistema actual vs Aislamiento en cámara

10.3.3 Sustitución de superficies acristalada

ESTADO	Demanda energética (calefacción) [kWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
NO ASILADO	286120	33910	45460	49971	23060	22677					11040	41365	52529	6108
DOBLE ACRISTALAMIENTO	243925	30308	40190	42979	17836	17501					7647	35306	46685	5474
Ahorro energético en kWh	42196	3603	5270	6992	5224	5177					3393	6059	5844	634
Ahorro %	15%	11%	12%	14%	23%	23%					31%	15%	11%	10%
Ahorro eur	2822	241	352	468	349	346					227	405	391	42
Con IVA	3414	291	426	566	423	419					275	490	473	51

Figura 10-9 Resumen ahorros acristalamiento aislante

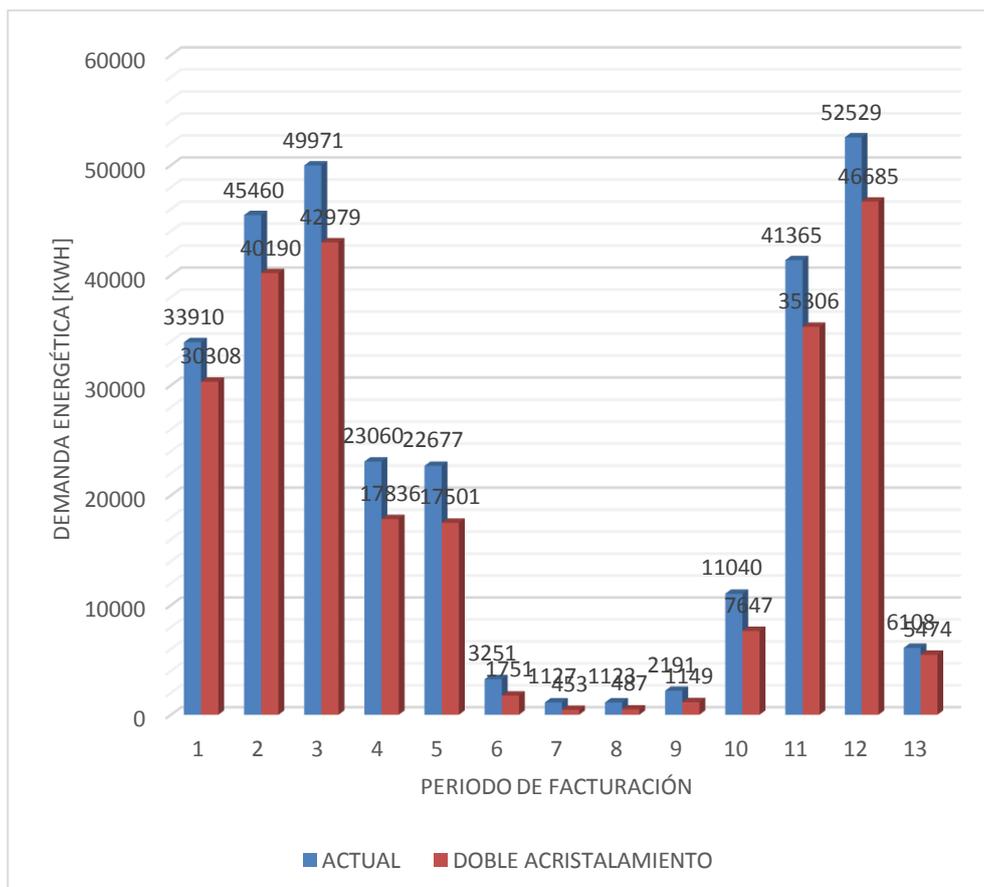


Figura 10-10 Gráfica comparativa: Demanda Actual vs Doble acristalamiento

10.4 Comparativa de demanda según la envolvente

En este apartado se hará una comparativa entre el estado actual y las tres soluciones constructivas de rehabilitación, de este modo, podremos ver gráficamente la gran influencia que tiene la envolvente térmica del cuartel Francisco Moreno en la demanda de energía de calefacción.

Con esta comparativa final, se consigue el objetivo de analizar la influencia de la envolvente en la demanda térmica del Cuartel Francisco Moreno.

Mediante una gráfica elaborada en Excel, puede observarse fácilmente la influencia de cada medida de rehabilitación de envolvente en la demanda.

A continuación se relaciona también una tabla resumen con el conjunto de valores de demanda de calefacción calculados mediante Trnsys:

ESTADO	Demanda (calefacción) [kWh]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ACTUAL	286120	33910	45460	49971	23060	22677					11040	41365	52529	6108
SATE	155723	22228	28553	28171	7797	7957					2285	21373	33347	4011
AISLA CÁMARA	231163	29337	38615	40928	16305	16027					6727	33214	44761	5250
DOBLE ACRISTALAMIENTO	243925	30308	40190	42979	17836	17501					7647	35306	46685	5474

Figura 10-11 Comparación de demandas según envolventes

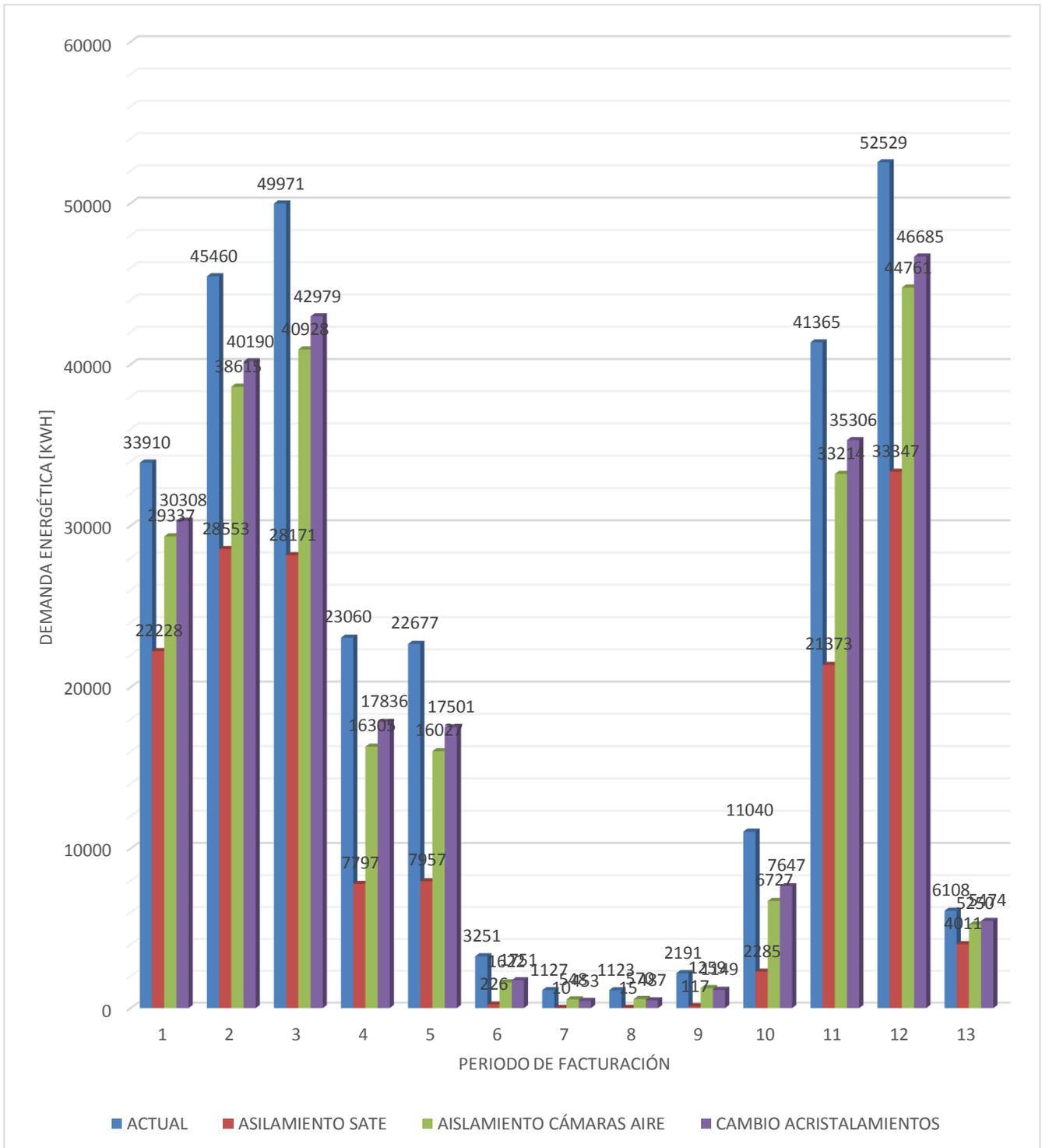


Figura 10-12 Gráfica comparativa de demanda según envolvente

Es claramente visible la influencia que tiene el tipo de envolvente en la demanda energética. Esta gráfica, nos permite extraer conclusiones claras sobre las capacidades de cada tipo de solución constructiva.

Se concluye que el sistema SATE es de forma notoria el más sobresaliente de los aislamientos.

11 ESTUDIO ECONÓMICO BÁSICO DE VIABILIDAD

11.1 Sistema SATE

Como se ha podido demostrar por los resultados (Figura 10-6 Gráfica comparativa: Demanda actual vs demanda SATE), este tipo de asilamientos, aplicados en nuestro edificio ofrecen una reducción de la demanda muy notable.

En los periodos objeto de estudio, se observa un ahorro cercano al 40-50%, un resultado que cumple con las expectativas.

Dado que el edificio en su estado actual tiene un gran margen de mejora, unos resultados tan elevados de ahorro pueden considerarse como la solución más propicia y válida.

El ahorro económico sería de 10551 € anuales⁹.

El presupuesto de la obra es de 59.03 €/ m²: Con una fachada de aproximadamente 2000 m², equivale a un total de 118060 €. Hay que tener en cuenta que sobre este precio se puede aplicar una subvención¹⁰

Partiendo del presupuesto de la empresa RockWool, la obra se estima en 118060€. Con la subvención [17] se descuenta un 30% hasta un máximo 6000€ en nuestro caso (si se considerara bloque de viviendas, el tope estaría en 12000€). De este modo, el presupuesto quedaría en 112060 €

Tipologías de actuación (% s/ coste elegible)		MÁXIMO ENTREGA DINERARIA SIN CONTRAPRESTACIÓN		MÁXIMO PRÉSTAMO REEMBOLSABLE
		Ayuda BASE	Ayuda Adicional por criterio social, eficiencia energética o actuación integrada	
EFICIENCIA ENERGÉTICA	Tipo 1. Mejora de la eficiencia energética de la envolvente térmica	30%	En función del uso del edificio y de acuerdo a lo establecido en Anexo I, para el tipo de actuación. Hasta los límites de la normativa de ayudas de Estado o tasa de cofinanciación FEDER en la Comunidad Autónoma donde radique el proyecto, según el Anexo V.	60%
	Tipo 2. Mejora de la eficiencia energética de las instalaciones térmicas y de iluminación	20%		70%
ENERGÍAS RENOVABLES	Tipo 3. Sustitución de energía convencional por biomasa en las instalaciones térmicas	25%		65%
	Tipo 4. Sustitución de energía convencional por energía geotérmica en las instalaciones térmicas	30%		60%

Figura 11-1 Tabla de Ayudas detallada. Fuente: Resolución de 25 Junio de la IDAE

Con un ahorro anual de gas destinado a calefacción de **10551 €**:

El tiempo de amortización de una obra como esta sería **10.6 años**. En principio es un periodo de amortización más que aceptable, por lo que, esta medida podría ser planteada como una buena medida a aplicar en un futuro. Sería recomendable llevar a cabo un estudio en profundidad de esta medida.

⁹ El precio del MWh de consumo es, según factura de 66.87€

¹⁰ Programa de ayudas para rehabilitación energética de edificios existentes (PAREER) publicada en B.O.E número 107, de 5 de mayo de 2015

11.2 Aislamiento de cámaras

También con este tipo de sistemas se observa una gran mejoría en la eficiencia térmica de la envolvente (Figura 10-8 Gráfica comparativa: Sistema actual vs Aislamiento en cámara). No obstante, los ahorros siguen siendo mayores con sistema SATE, lo cual justifica, que en la mayoría de viviendas/bloques de viviendas se opte por la primera solución.

Tal y como puede deducirse de los resultados, los porcentajes de ahorro energético se encuentran en torno al 15-20 %. Esta reducción de necesidades energéticas se traduciría en un ahorro anual de 4447 €.

Tal y como hemos visto en el presupuesto de la empresa para realizar este aislamiento, el precio estimado de la obra sería de 36.78 €/m²:

Con 2000m² de fachada, por tanto 73560 €

Partiendo del presupuesto de la empresa RockWool, la obra se estima en **73560€**. En este caso, no está tan claro que con 20% de ahorro la eficiencia energética aumente en dos letras (condición necesaria para poder recibir la subvención) de modo que no se aplicará, suponiendo así el peor de los casos.

Con un ahorro anual de gas destinado a calefacción de **4447 €**:

El tiempo de amortización de una obra como esta, sería de prácticamente **16 años y medio**, seis años más de los que se tardaría en amortizar el sistema SATE.

11.3 Sustitución de superficies acristaladas

En este tercer y último caso, los valores obtenidos son muy parecidos al anterior, con ahorro energéticos de un 15%, por lo que, el ahorro económico, podríamos haber adelantado que estaría también en torno a los 3000€, concretamente en 3414€ anuales.

Lo que hay que valorar ahora es: cuál sería el coste de la obra en este caso. El presupuesto de la empresa “Control Glass”(Anexo V: Presupuestos) se hará de forma aproximada teniendo en cuenta los dos tipos de ventanas predominantes en la fachada: las ventanas de los estudios (4.91 m²) a 69.79 €/ud. y de las camaretas (1.68 m²) a 65.99 €/ud. Quedarían excluidas de este grupo zonas como el Tatami, las Hall y finalmente la biblioteca (cuyas ventanas no son tan deficientes como en el resto del edificio debido a que son prácticamente nuevas)

De este modo, con 80 ventanas de 1.68 y 40 de 4.91 el coste sería de 8070.8 € (5279.2€+2791.6€)

Sabiendo estos datos, se obtiene que el periodo de amortización sería 2.3 años. Por tanto, es una opción muy viable, ya que llevarla a cabo requiere un desembolso económico relativamente bajo en proporción a las otras dos, por lo que se amortizaría en poco tiempo.

12 CONCLUSIONES Y LINEAS FUTURAS

12.1 Conclusiones

Los objetivos de este Trabajo de Fin de Grado se han cumplido. Por una parte, se ha conseguido analizar, mediante el estudio de tres propuestas de rehabilitación, la influencia que tiene la envolvente térmica del cuartel Almirante Francisco Moreno sobre la demanda térmica, y por otra, se han extraído conclusiones valiosas sobre la efectividad de las distintas soluciones de rehabilitación propuestas:

- Un sistema SATE (amortizado en 10.6 años) permitiría ahorros anuales del 50%, equivalentes a una reducción de 10551€ anuales en las facturas.
- El sistema de aislamiento de cámaras (amortizable en 16.5 años) supondría una mejora en un 15-20%, equivalente a 4447€ de ahorro anual
- Un acristalamiento de doble hoja aislante, supondría una inversión baja (amortizable en 2.3 años) con mejoras de eficiencia próximas a la solución anterior (aislamiento en cámara), con ahorros económicos similares: 3414€ anuales.

Se ha llegado a demostrar, por tanto, que el sistema SATE, es la medida de mejora de envolvente más efectiva, seguida de: la instalación de cristales aislantes y la insuflación de aislantes (lana de roca) en cámara.

Este trabajo, ha permitido también, poner de manifiesto la importancia que tiene hoy en día la eficiencia energética, ya que:

- Los recursos energéticos de los que disponemos, no son infinitos.
- Es necesario salvaguardar, en la medida de lo posible, el medio ambiente.
- Los ahorros económicos asociados a la eficiencia de los recursos energéticos, son considerables.

Por último, cabe destacar la gran utilidad de la herramienta de cálculo utilizada, el Trnsys, un software muy complicado, que exige una definición muy rigurosa de los elementos con los que definir el modelo, pero que, al mismo tiempo, aporta gran fiabilidad en sus resultados.

12.2 Líneas futuras

Los resultados obtenidos a lo largo de este Trabajo de Fin de Grado han servido para llegar a la conclusión de que la envolvente térmica influye significativamente en la eficiencia energética de los edificios, y que por tanto, es necesario estudiar más en profundidad algunas medidas de mejora, ya que, con las nuevas normativas de ahorro energético, todas las edificaciones tienen que ir adaptándose a una nueva etapa de sostenibilidad de los recursos.

Son numerosas las ayudas (proporcionadas por organismos tanto europeos como nacionales) destinadas a favorecer la adopción de medidas de reducción de demanda energética, es por tanto necesario, llevar a cabo un estudio más exhaustivo de la viabilidad de las mejoras planteadas en este trabajo, ya que, debido a su ámbito, en este trabajo no se ha podido profundizar un tema tan específico como el de las diversas ayudas de los distintos organismos.

Otro de los aspectos que habría que considerar es: cómo afectarían las reformas de la envolvente en la certificación energética del edificio, ya que, muchos requisitos para la aprobación de subvenciones por parte del Estado se basan en el grado en la mejora de certificación, siendo mayor cuanto mayor sea la influencia de las medidas sobre la letra de calificación energética.

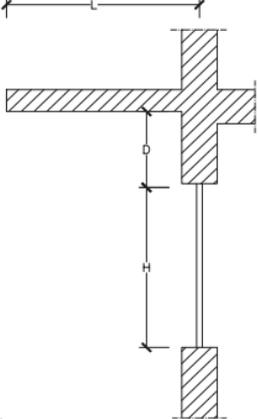
13 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Parlamento Europeo, «La eficiencia energética,» 2016. [En línea]. Available: http://www.europarl.europa.eu/ftu/pdf/es/FTU_5.7.3.pdf. [Último acceso: 2 Febrero 2016].
- [2] *CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo (BOE 08-noviembre-2013)*, 2013.
- [3] Ministerio de Defensa, «Memoria de Responsabilidad Social 2010,» 2010. [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/ShowBinaryServlet?nodePath=/BEA%20Repository/Desktops/Portal/ArmadaEspañola/Pages/mardigital_docinstituc/01_docu-institucional-defensa/00_responsabilidad-soc-MDEF/01_memoria-responsabilidad-social_es/01_memoria//arch. [Último acceso: 02 Febrero 2016].
- [4] E. Díaz del Río Oleaga, G. Lareo Calviño y G. Rey González, *Estudio de alternativas de climatización en el cuartel Francisco Moreno, Pontevedra*, 2015.
- [5] IDAE, «Proyecto sech-spahousec,» 16 Julio 2011. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_informe_spahousec_acc_f68291a3.pdf. [Último acceso: 24 Febrero 2016].
- [6] IDAE, «PLAN DE AHORRO Y EFICIENCIA ENERGÉTICA 2011 - 2020,» 2011. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11905_PAEE_2011_2020._A2011_A_a1e6383b.pdf. [Último acceso: 24 Febrero 2016].
- [7] A. González Gil, M. Á. Gómez Rodríguez y J. J. Piñeiro Paredes, *Certificación Energética del Cuartel*, Pontevedra, Pontevedra, 2015.
- [8] A. d. C. Molins, «Proyecto de Edificio para Cuartel de Alumnos en la Escuela Naval Militar de Marín,» Vigo, 1974.
- [9] M. V. González, *Instalación Receptora de Gas Natural de la Sala de calderas de un edificio militar (F.Moreno - Biblioteca)*, Vigo, 2010.
- [10] C. González Valiente y R. Ferrando Pérez, «Módulo 6: Instalaciones de climatización y ventilación,» [En línea]. Available: <http://campusvirtual.edu.uy/archivos/mecanica-general/Libros/Instalaciones%20de%20climatizacion%20y%20ventilacion.pdf>. [Último acceso: 9 Febrero 2016].
- [11] Ingemecánica, «Ingemecánica,» [En línea]. Available: <http://ingemecanica.com/index.html>. [Último acceso: 09 Febrero 2016].
- [12] D. Builder, «Aurea Consulting,» [En línea]. Available: <http://ecoficiente.es/infiltracioneshe/>.
- [13] Ó. Vega Vegas, G. Lareo Calviño y A. Suárez García, *Estudio del potencial de aprovechamiento de la energía solar para usos térmicos en las instalaciones de la Escuela Naval Militar*, Pontevedra, 2016.

- [14] IDAE, «Sistemas de Aislamiento Térmico Exterior (SATE) para la Rehabilitación de la Envoltura Térmica de los Edificios,» Abril 2012. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_12300_guia_sate_a2012_accesibleedan_df06746b.pdf. [Último acceso: 20 Febrero 2016].
- [15] «Rockwool,» [En línea]. Available: <http://www.rockwool.es/>. [Último acceso: 18 Febrero 2016].
- [16] «Generador de Precios,» [En línea]. Available: <http://www.generadordeprecios.info/>. [Último acceso: 18 Febrero 2016].
- [17] IDAE, «Resolución del Director General del IDAE. Programa de ayudas para la rehabilitación energética de edificios existentes,» 24 Marzo 2015. [En línea]. Available: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_PAREER-CRECE-texto_refundido_y_consolidado_5476c4c8.pdf. [Último acceso: 24 Febrero 2016].

14 ANEXOS

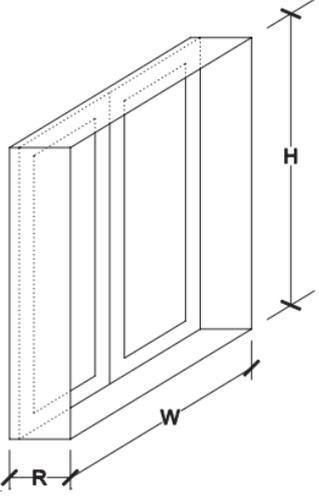
ANEXO I: TABLAS Y FACTORES. FUNDAMENTOS TEÓRICOS



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
S	$0 < D/H \leq 0,2$		0,82	0,50	0,28	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$		0,87	0,64	0,39	0,22
	$D/H > 0,5$		0,93	0,82	0,60	0,39
SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$		0,90	0,71	0,43	0,16
	$0,2 < D/H \leq 0,5$		0,94	0,82	0,60	0,27
	$D/H > 0,5$		0,98	0,93	0,84	0,65
E/O	$0 < D/H \leq 0,2$		0,92	0,77	0,55	0,22
	$0,2 < D/H \leq 0,5$		0,96	0,86	0,70	0,43
	$D/H > 0,5$		0,99	0,96	0,89	0,75

Figura 0-1 Factor de sombra para obstáculos en fachada: Voladizo. Fuente: CTE



ORIENTACIONES DE FACHADAS			$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,82	0,74	0,62	0,39
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,76	0,67	0,56	0,35
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,56	0,51	0,39	0,27
	$R/H > 0,5$		0,35	0,32	0,27	0,17
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,86	0,81	0,72	0,51
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,79	0,74	0,66	0,47
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,59	0,56	0,47	0,36
	$R/H > 0,5$		0,38	0,36	0,32	0,23
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$		0,91	0,87	0,81	0,65
	$0,1 < R/H \leq 0,2$		0,86	0,82	0,76	0,61
	$0,2 < R/H \leq 0,5$		0,71	0,68	0,61	0,51
	$R/H > 0,5$		0,53	0,51	0,48	0,39

Figura 0-2 Factor de sombra para obstáculos en fachada: Retranqueo. Fuente: CTE

LAMAS HORIZONTALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
		0	30	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
	SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
	ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

LAMAS VERTICALES		ANGULO DE INCLINACIÓN (σ)						
		-60	-45	-30	0	30	45	60
ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
	SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
	ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
	OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
	SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

Figura 0-3 Factor de sombra para obstáculos en fachada: lamas. Fuente CTE

CASO A	Tejido opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
α				
30	0,02	0,04	0,22	0,24
45	0,05	0,08	0,25	0,28
60	0,22	0,28	0,42	0,48

CASO B	Tejido opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
α						
30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Figura 0-4 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos. Fuente: CTE

		Y / Z					
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0
X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
	0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
	1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
	2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
	5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
	10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

Figura 0-5 Factor de sombra para lucernarios. Fuente: CTE

Tipo de edificio Categoría de edificio datos de entrada	a	b	c	d	e	f	g	h	i) Otros tipos				Unidades
	Edificios unifamiliares	Bloques de apartamentos	Oficinas	Escuelas, colegios	Hospitales	Restaurantes	Servicios de comercio	Centros deportivos	Salones de actos	Edificios industriales	Almacenes	Piscinas cubiertas	
Temperatura interna de consigna en invierno	20	20	20	20	22	20	20	18	20	18	18	28	°C
Temperatura interna de consigna en verano	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	28	°C
Superficie por persona (ocupación)	60	40	20	10	30	5	10	20	5	20	100	20	m ² /persona
Flujo de calor medio por persona	70	70	80	70	80	100	90	100	80	100	100	60	W/persona
Ganancias metabólicas por superficie de suelo acondicionada	1,2	1,8	4,0	7,0	2,7	20,0	9,0	5,0	16,0	5,0	1,0	3,0	W/m ²
Tiempo de permanencia por día (media mensual)	12	12	6	4	16	3	4	6	3	6	6	4	h
Consumo de electricidad anual por superficie de suelo acondicionada ^a	20	30	20	10	30	30	30	10	20	20	6	60	kWh/m ²
Parte del consumo de electricidad dentro de la parte acondicionada del edificio	0,7	0,7	0,9	0,9	0,7	0,7	0,8	0,9	0,8	0,9	0,9	0,7	—
Índice del flujo de aire con el aire exterior por área acondicionada ^a	0,7	0,7	0,7	0,7	1,0	1,2	0,7	0,7	1,0	0,7	0,3	0,7	m ³ /(h·m ²)
Índice del flujo de aire con el aire exterior por persona	42	28	14	7	30	6	7	14	5	14	30	14	m ³ /(h persona)
Necesidades de calefacción para agua caliente por superficie acondicionada de suelo ^a	10	20	10	10	30	60	10	80	10	10	1,4	80	kWh/m ²

^a Estas cifras corresponden a un área acondicionada construida, calculada sobre las dimensiones exteriores del edificio. Esta superficie incluye todos los espacios acondicionados envueltos por la capa de aislamiento térmico. Por ejemplo, incluiría una escalera interna no calefactada (pero con calefacción indirecta), pero no un sótano.

Figura 0-6 Temperaturas de consiga. Fuente: UNE-EN ISO 13790 20

Orientación	Tec (°C)
NORTE	$0,6 \cdot Te$
SUR	Te
ESTE	$0,8 \cdot Te$
OESTE	$0,9 \cdot Te$
CUBIERTA	$Te+12$
SUELO	$(Te+15)/2$
PAREDES INTERIORES	$Te \cdot 0,75$

Días	Horas	Edificios residenciales	
		Cuarto de estar más cocina $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²	Otras áreas acondicionadas (por ejemplo, dormitorios) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²
Lunes a viernes	07.00 a 17.00	8,0	1,0
	17.00 a 23.00	20,0	1,0
	23.00 a 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	2,67
Sábado y domingo	07.00 a 17.00	8,0	2,0
	17.00 a 23.00	20,0	4,0
	23.00 a 07.00	2,0	6,0
	Media	9,0	3,83
Media		9,0	3,0

Figura 0-8 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790

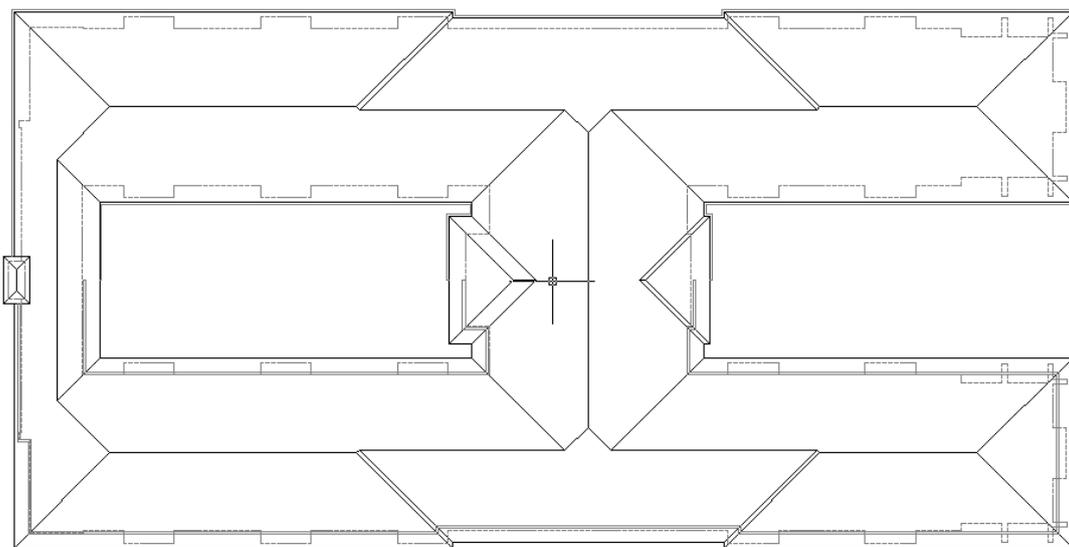
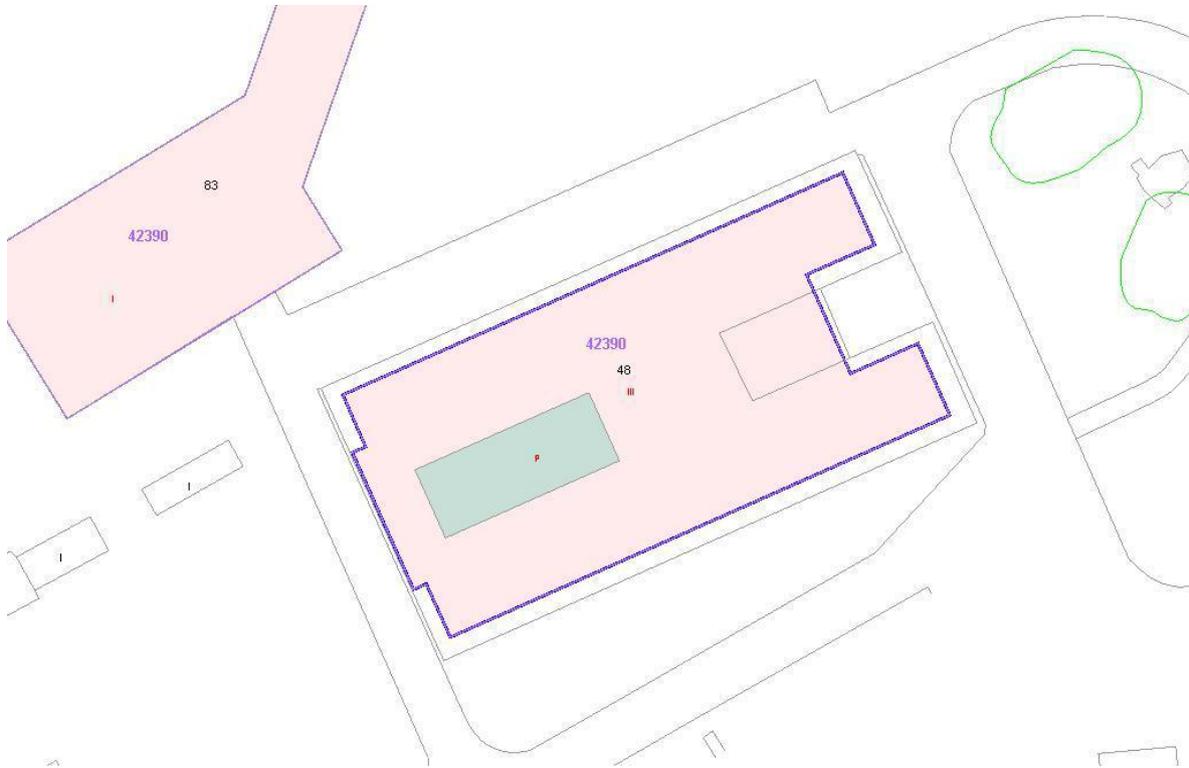
Días	Horas	Oficinas	
		Espacios de oficina (con un 60% de superficie de suelo acondicionada) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²	Otras habitaciones, recepción, pasillos (con un 40% de superficie de suelo acondicionada) $(\Phi_{int,Oc} + \Phi_{int,A})/A_f$ W/m ²
Lunes a viernes	07.00 a 17.00	20,0	8,0
	17.00 a 23.00	2,0	1,0
	23.00 a 07.00	2,0	1,0
	Media	9,50	3,92
Sábado y domingo	07.00 a 17.00	2,0	1,0
	17.00 a 23.00	2,0	1,0
	23.00 a 07.00	2,0	1,0
	Media	2,0	1,0
media		7,4	3,1

Figura 0-9 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790

Clase de la densidad de ocupación	Superficie de suelo acondicionada por persona m ²	Simultaneidad	$\Phi_{int,Oc}/A_f$ W/m ²
I	1,0	0,15	15
II	2,5	0,25	10
III	5,5	0,27	5
IV	14	0,42	3
V	20	0,40	2

Figura 0-10 Índice de flujos de calor debido a ocupantes y equipos. Fuente: UNE-EN ISO 13790

ANEXO II: PLANOS PLANTA Y ALZADO DEL EDIFICIO [7]



ESTADO ACTUAL
PLANTA CUBIERTA



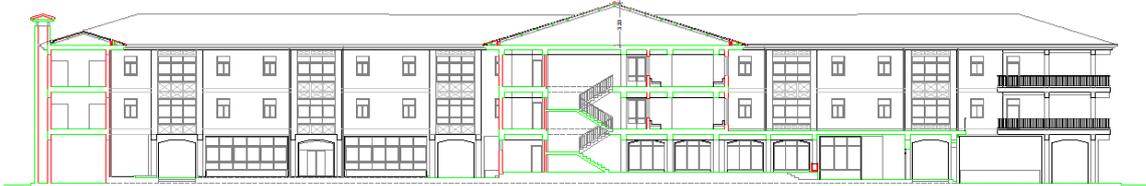
SECCIÓN TRANSVERSAL E-E'

ESCALA 1:200



SECCIÓN TRANSVERSAL D-D'

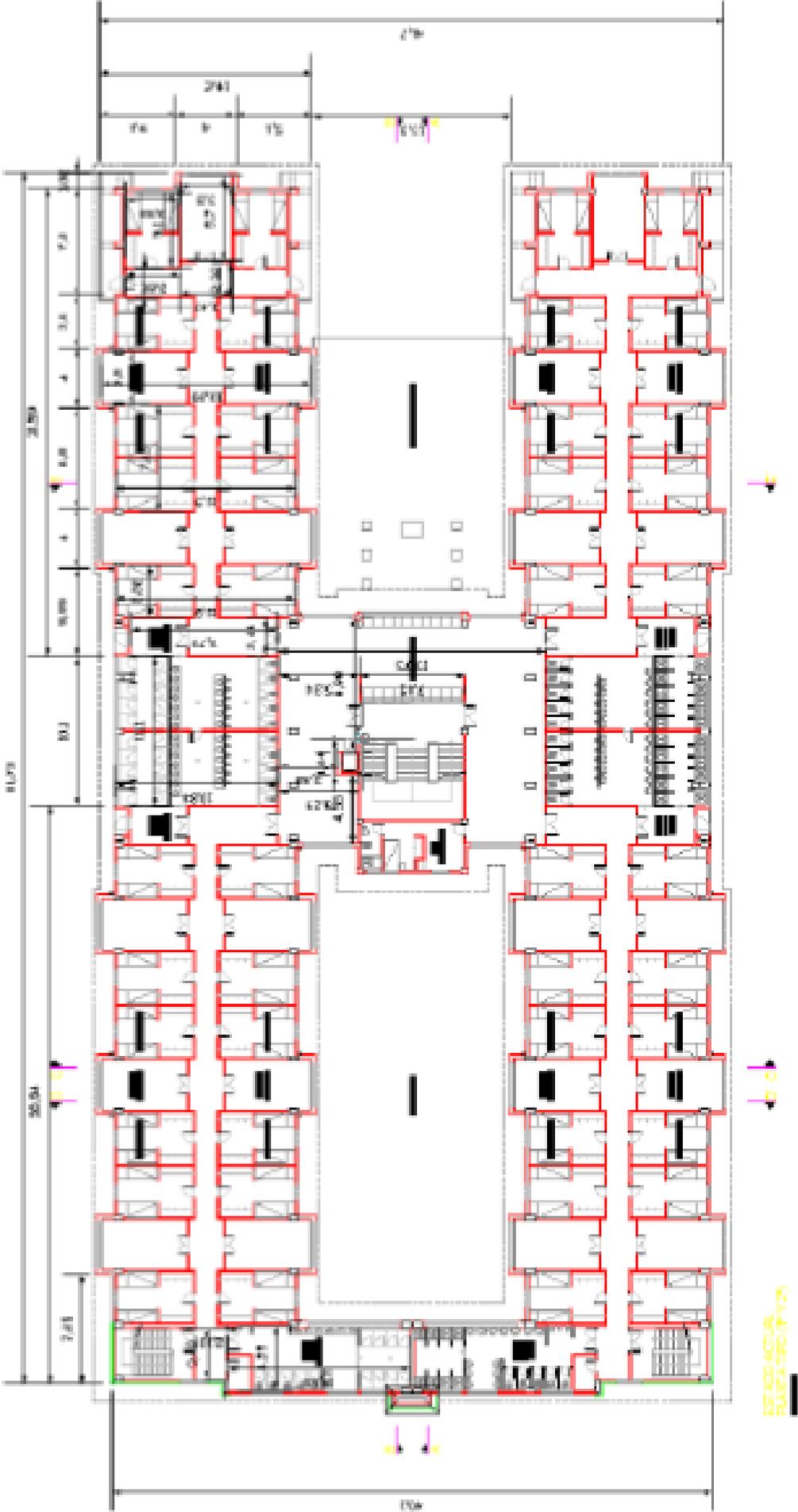
ESCALA 1:200



SECCIÓN LONGITUDINAL A-A'

ESCALA 1:200





ANEXO III: IMÁGENES FACHADAS PRINCIPALES [7]

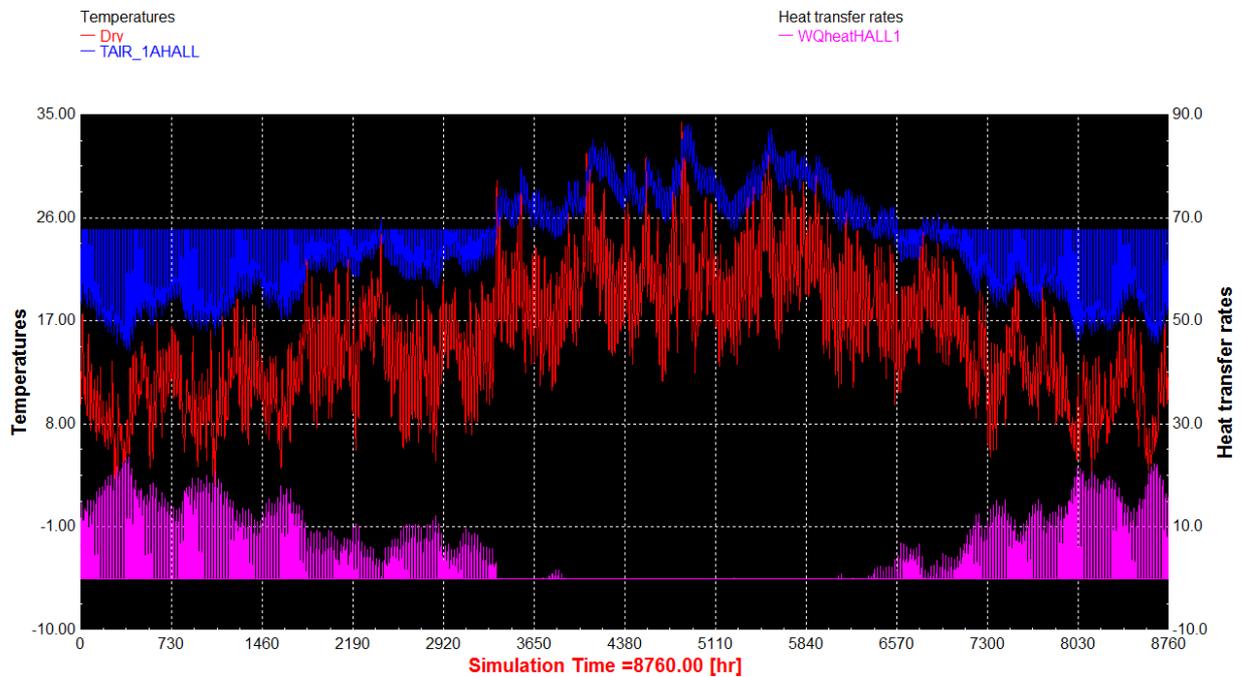
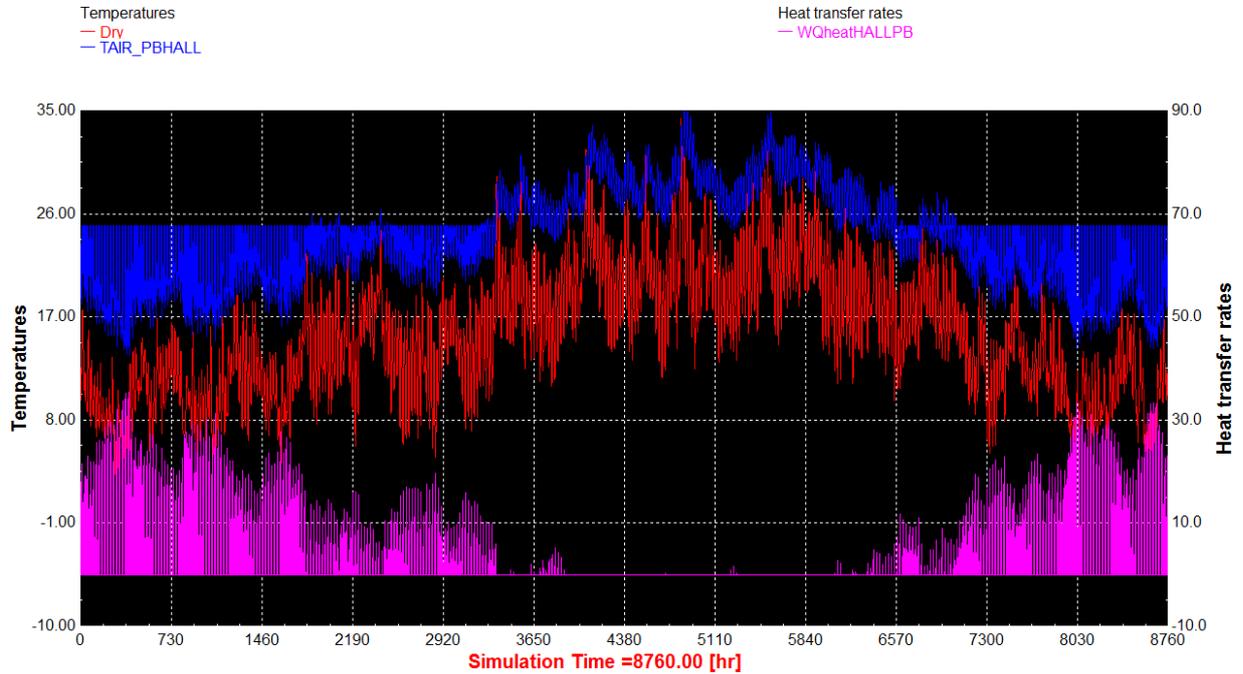


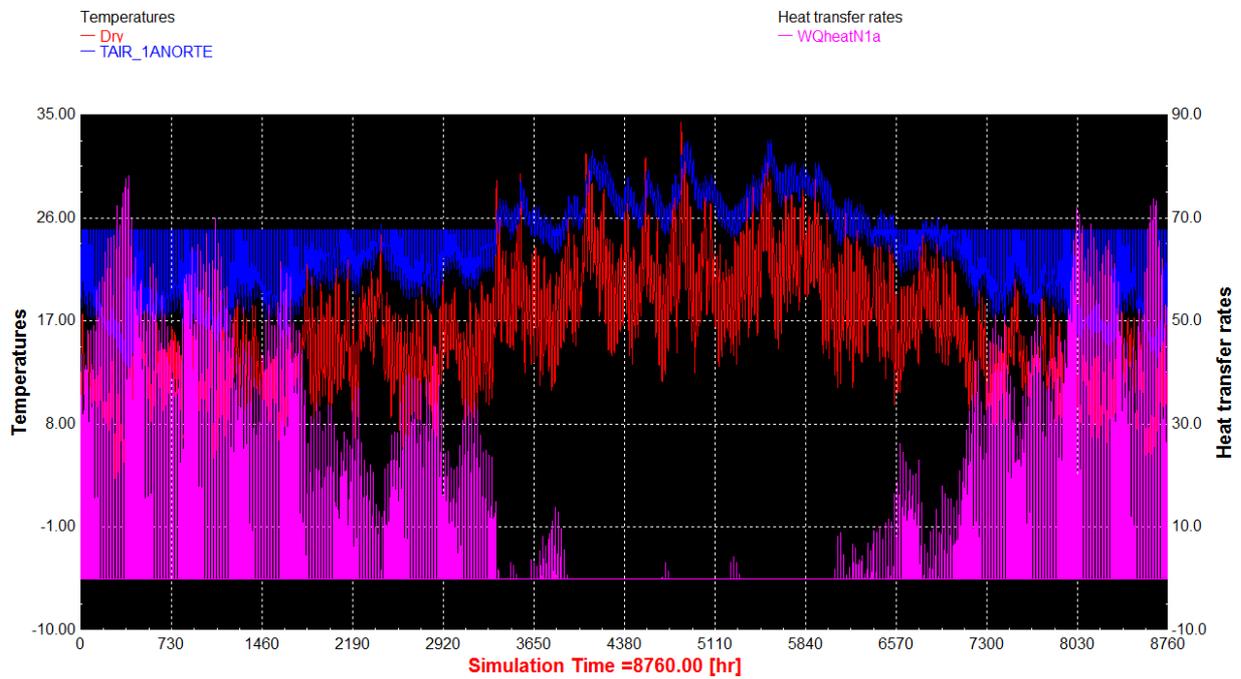
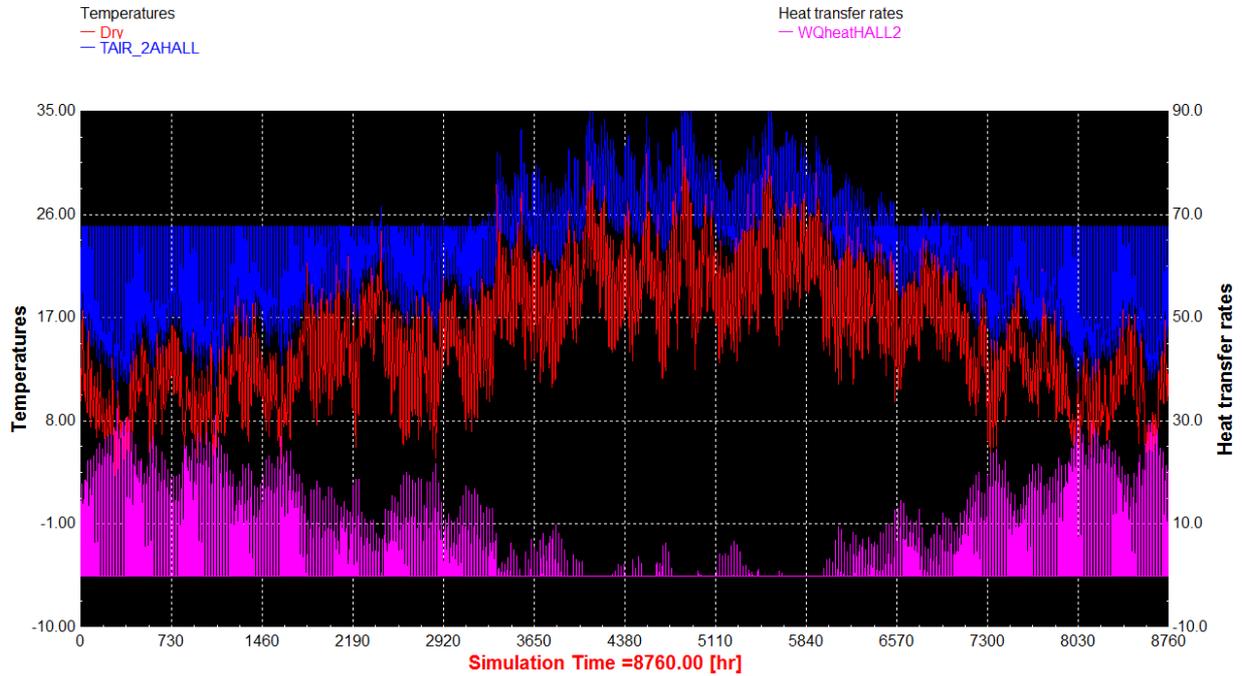


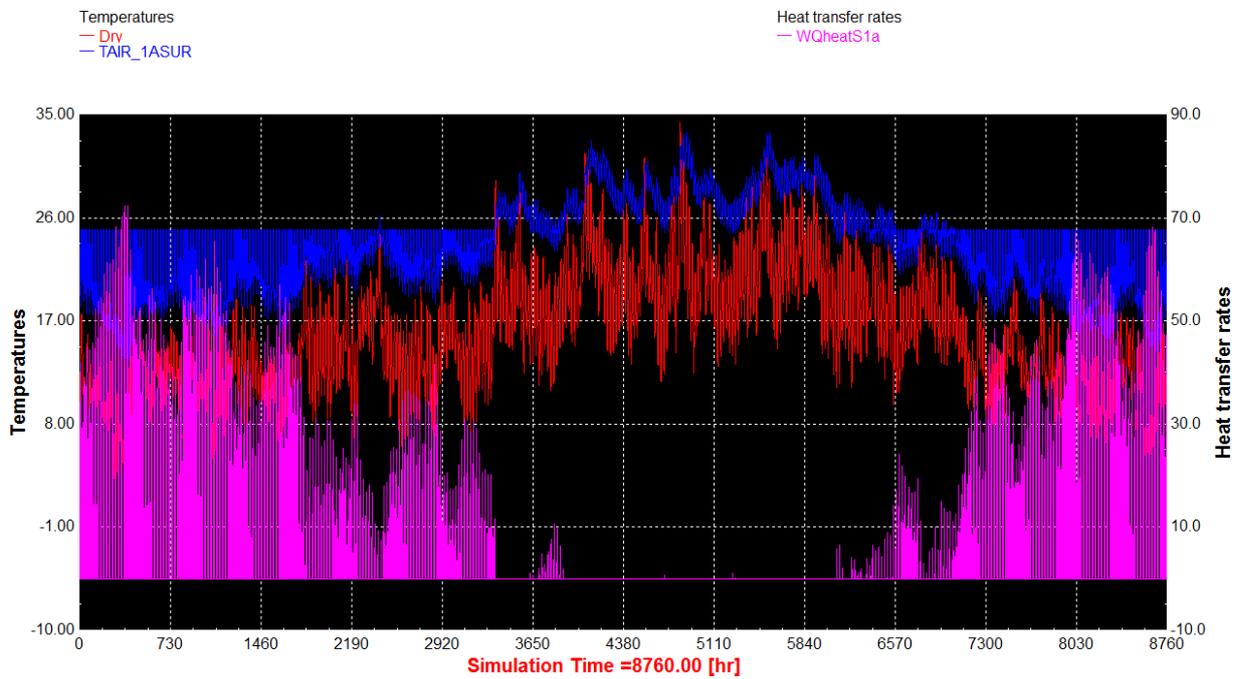
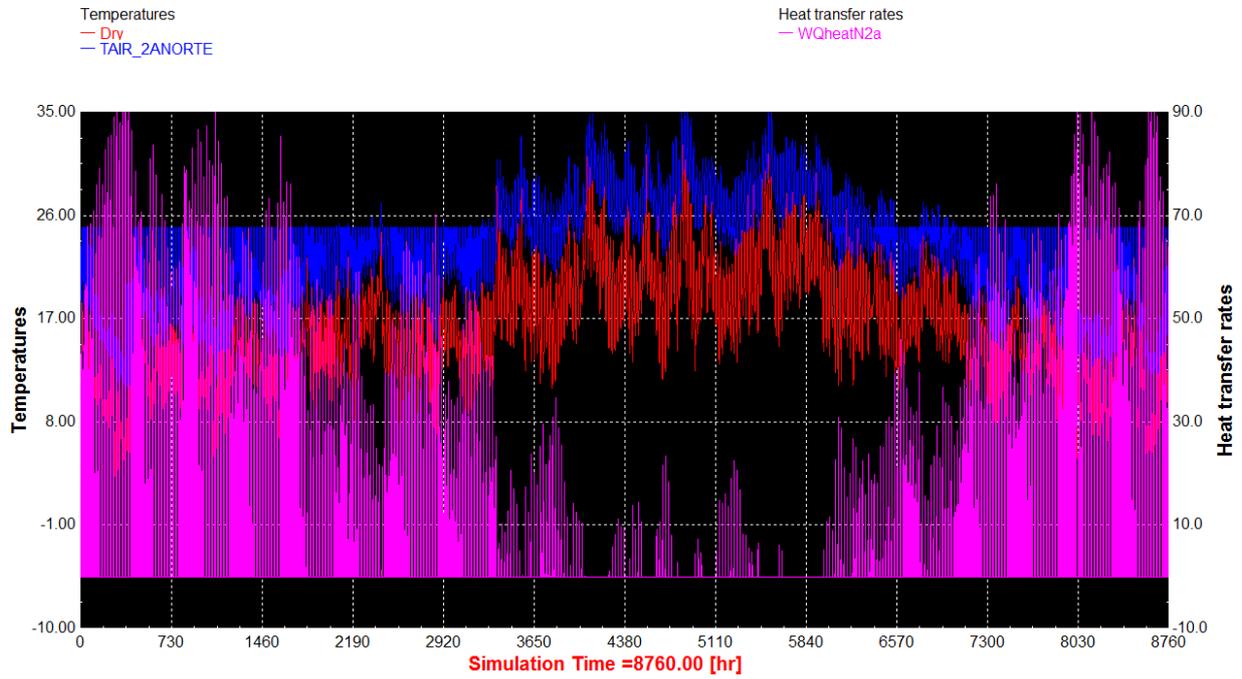


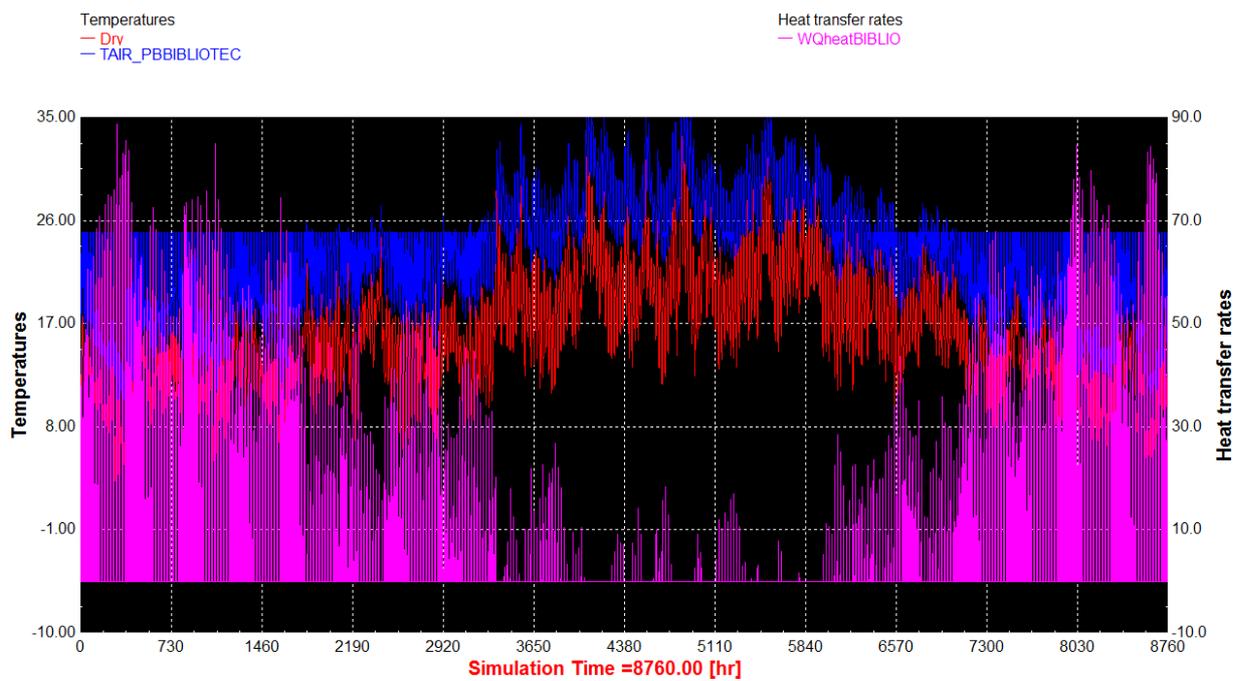
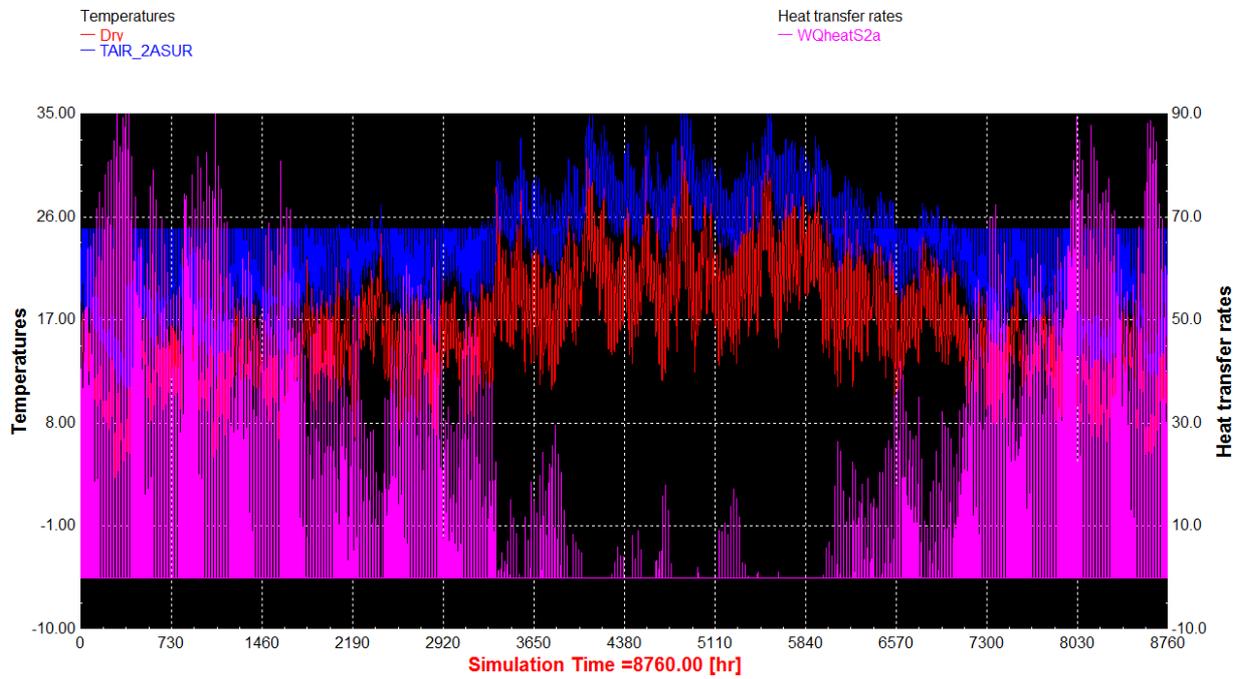
ANEXO IV: GRÁFICAS DE RESULTADOS

Estado Actual

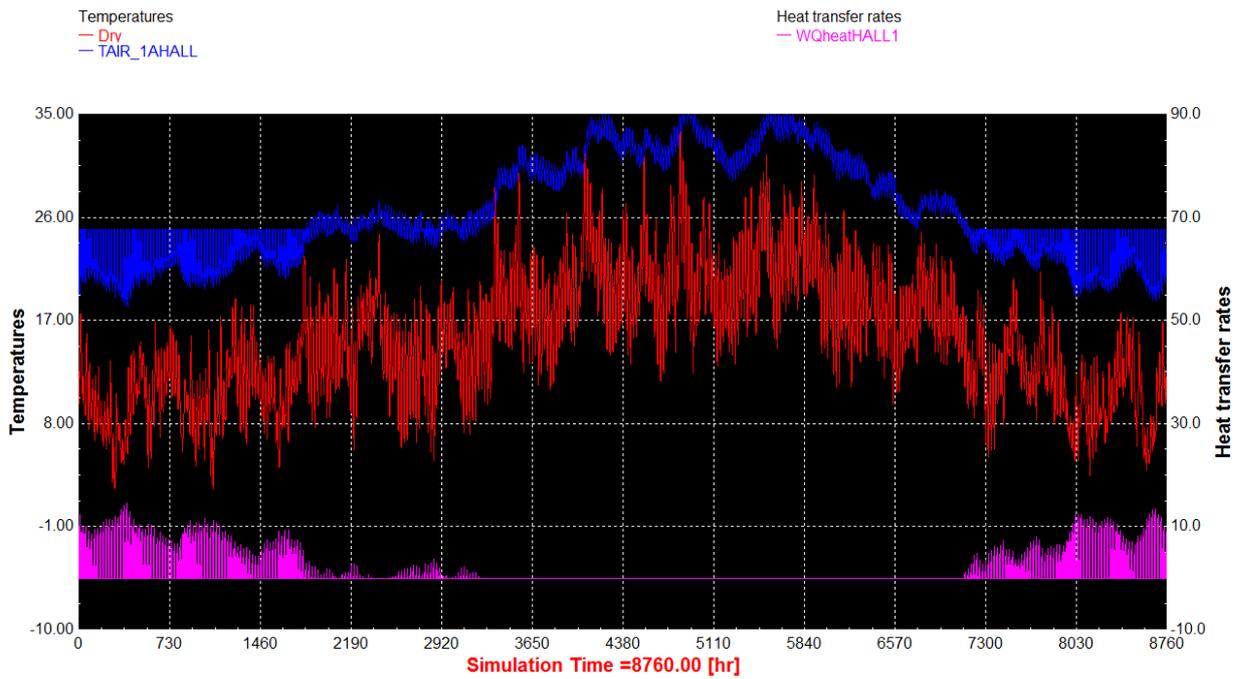
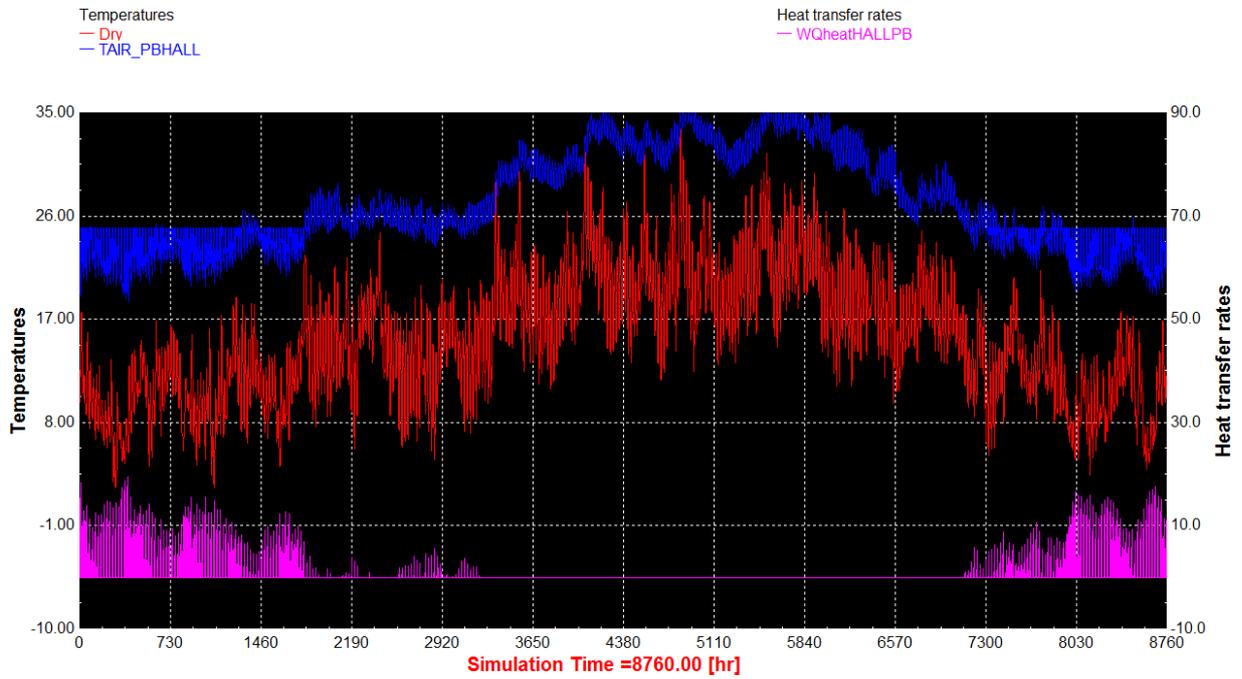


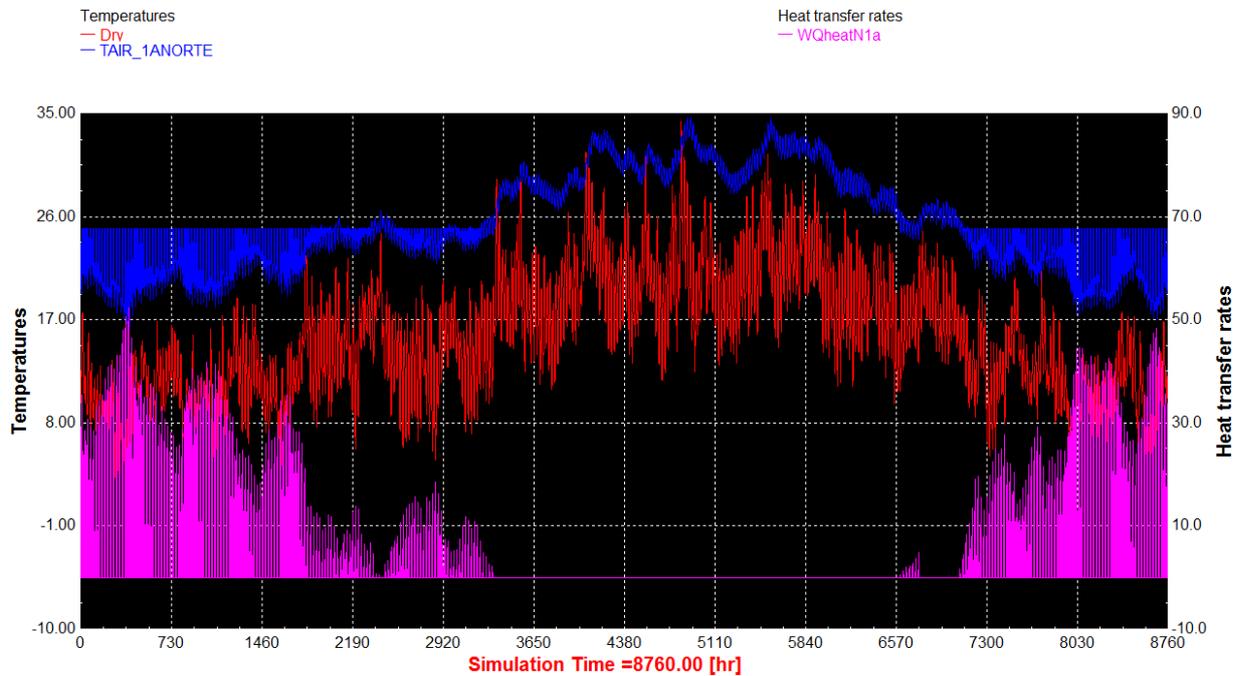
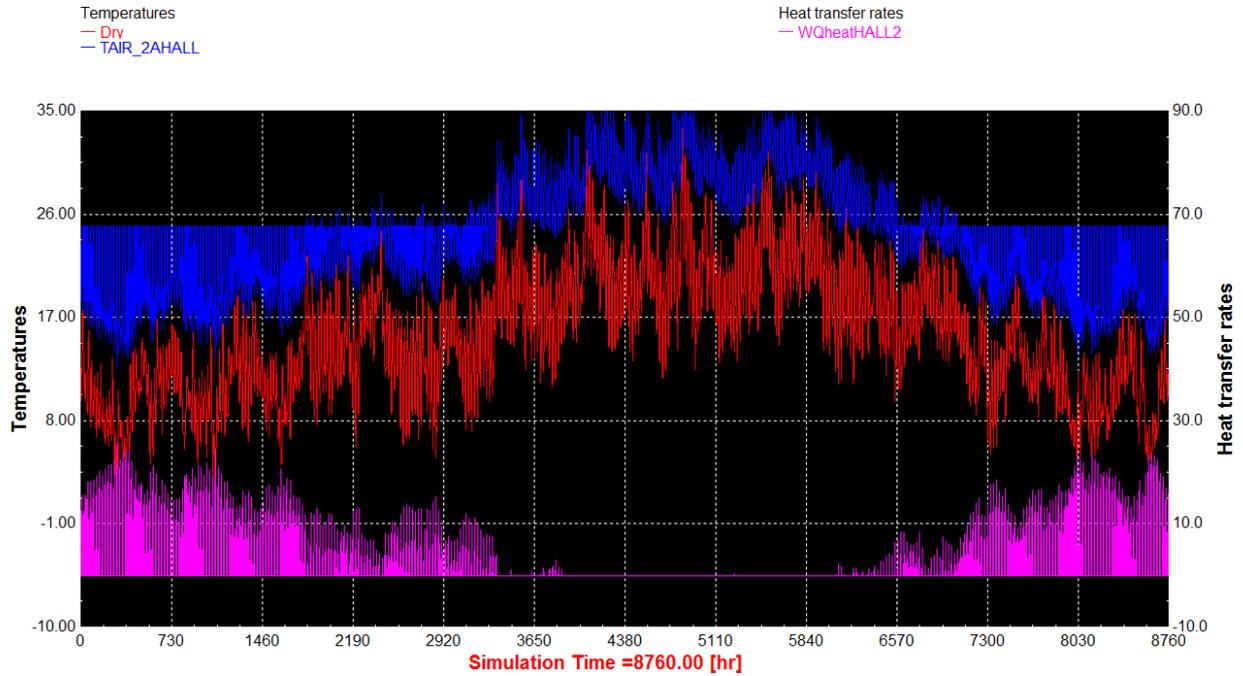


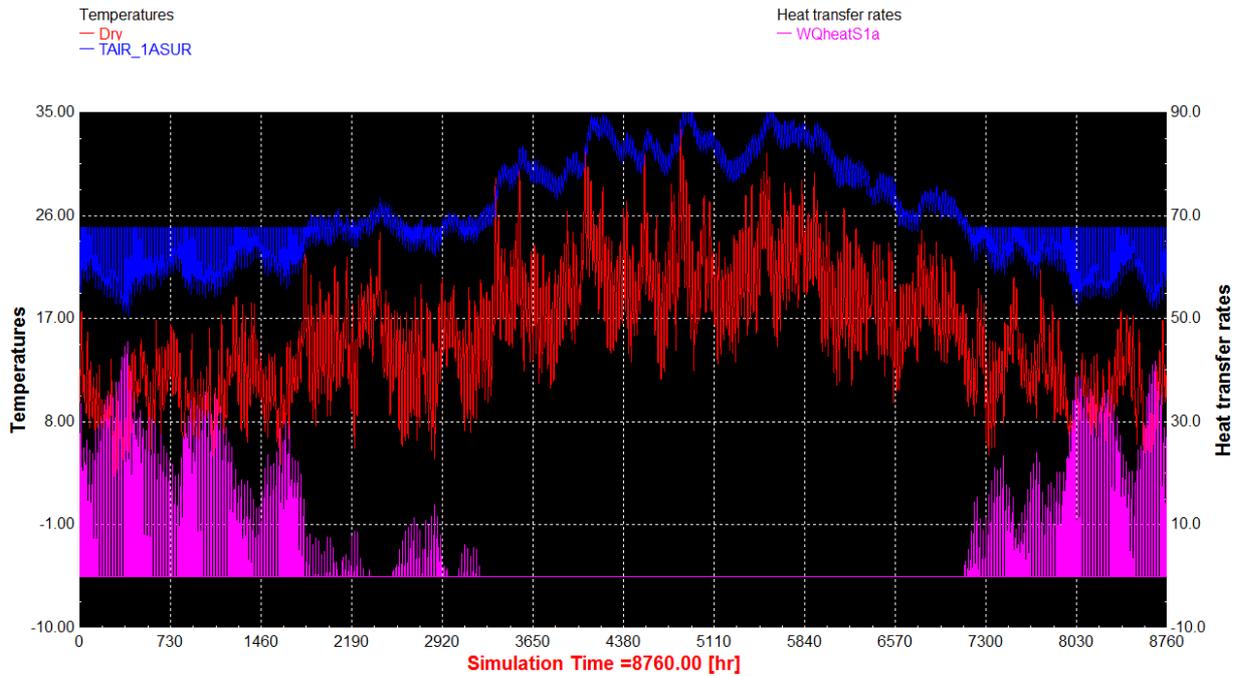
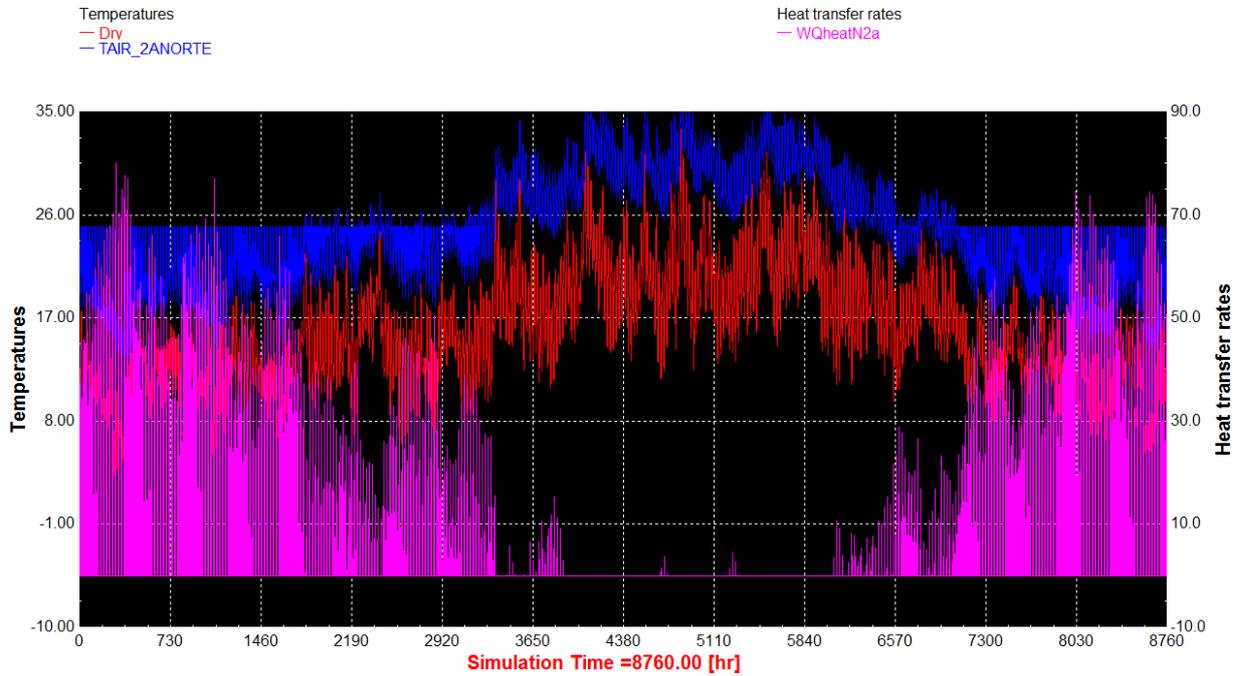


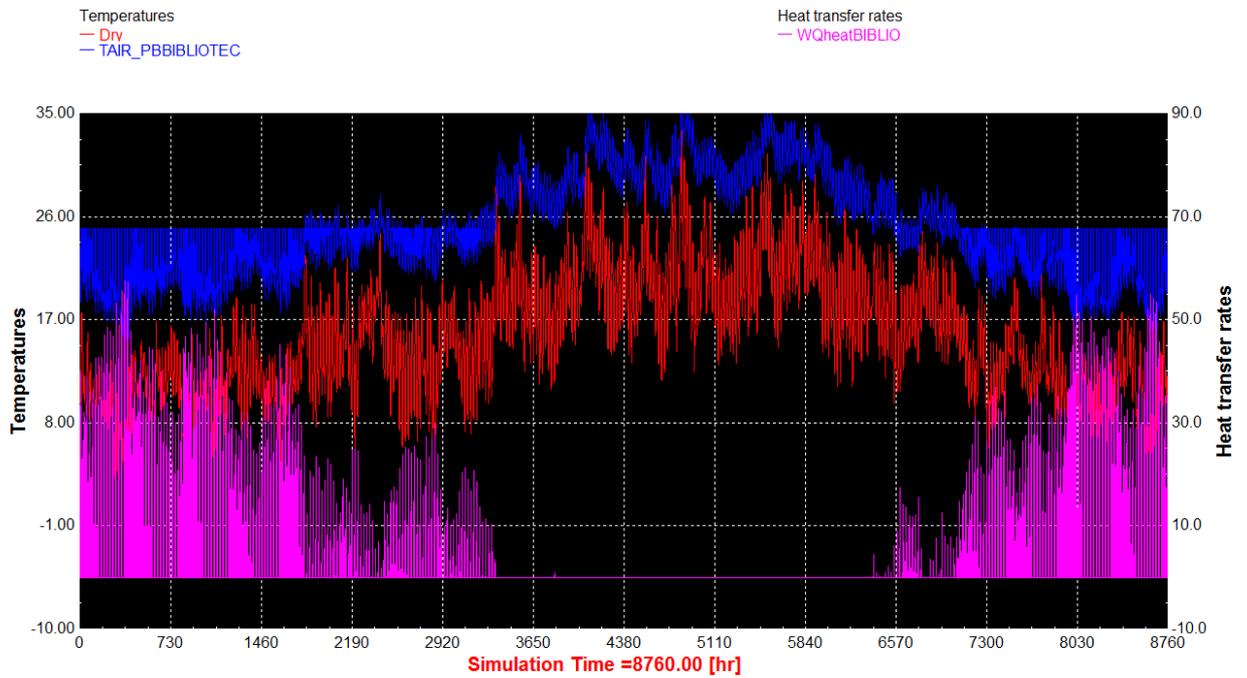
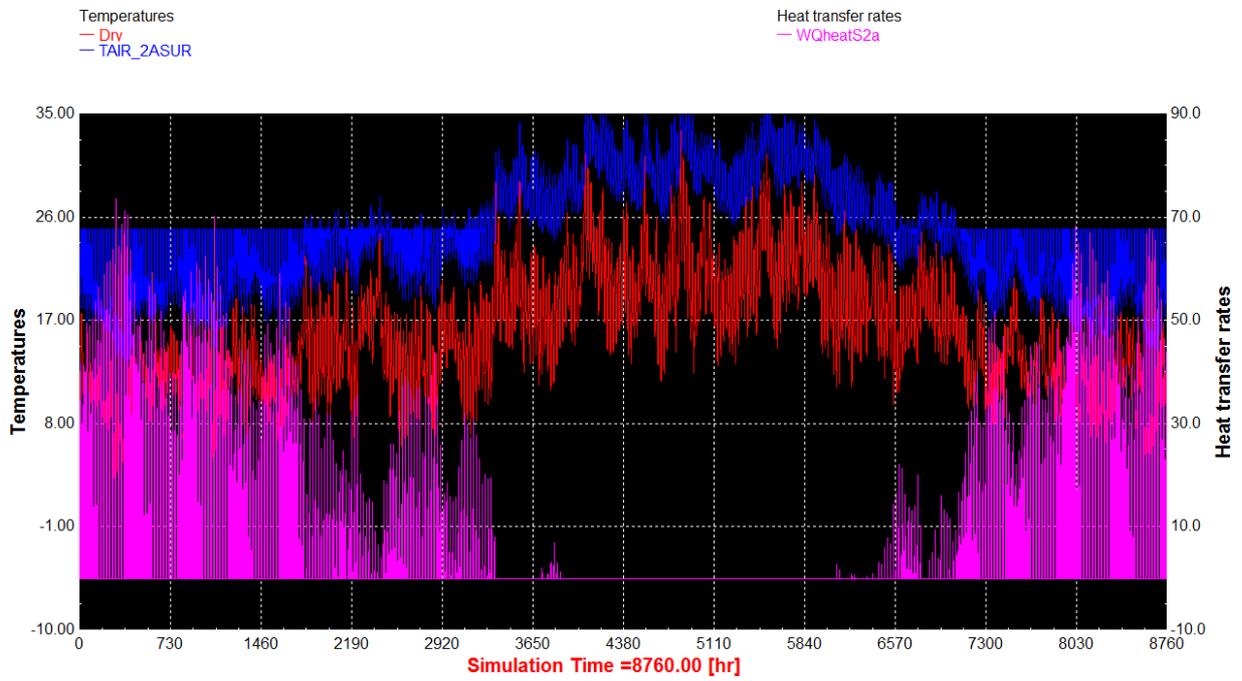


Sistema SATE

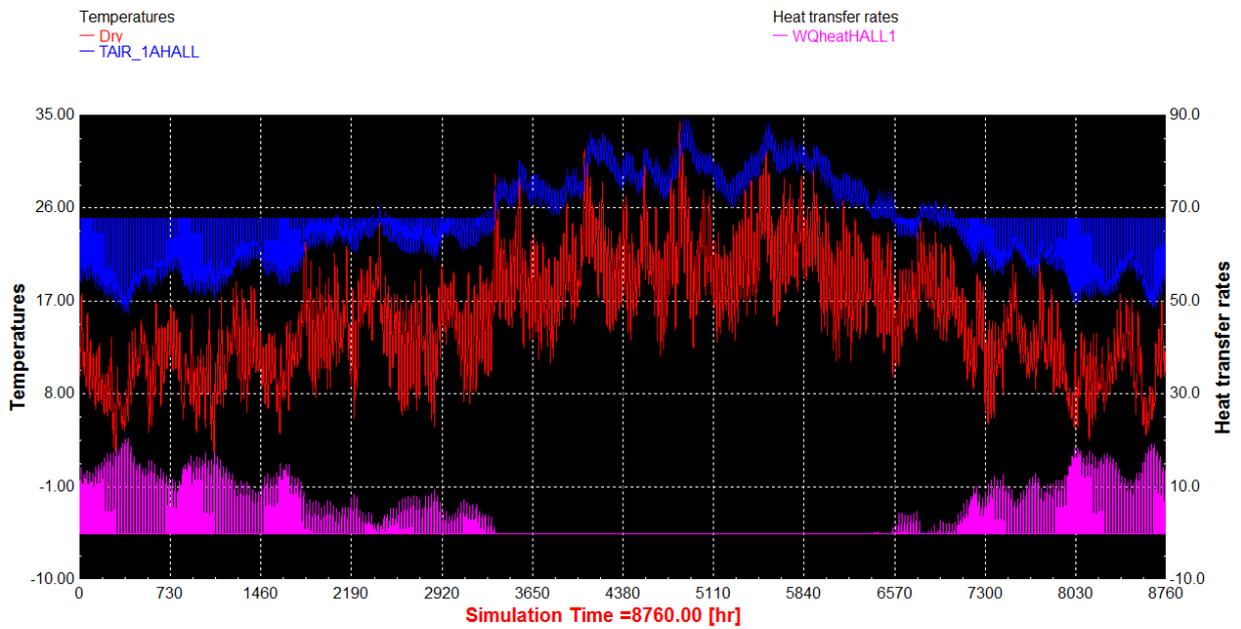
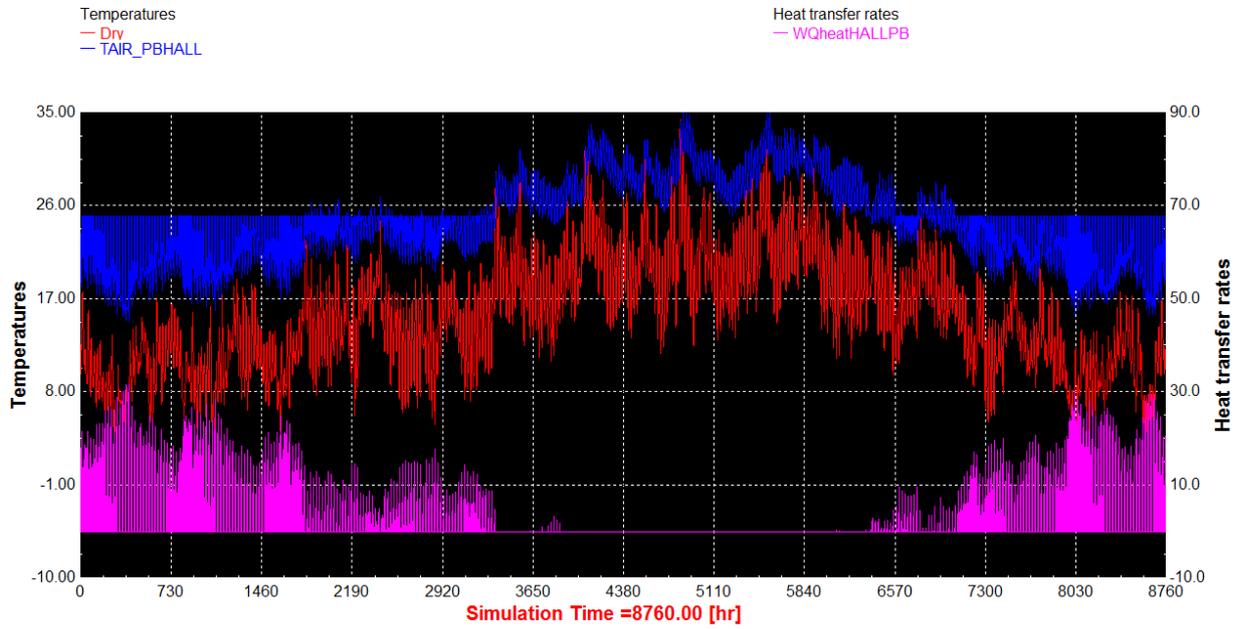


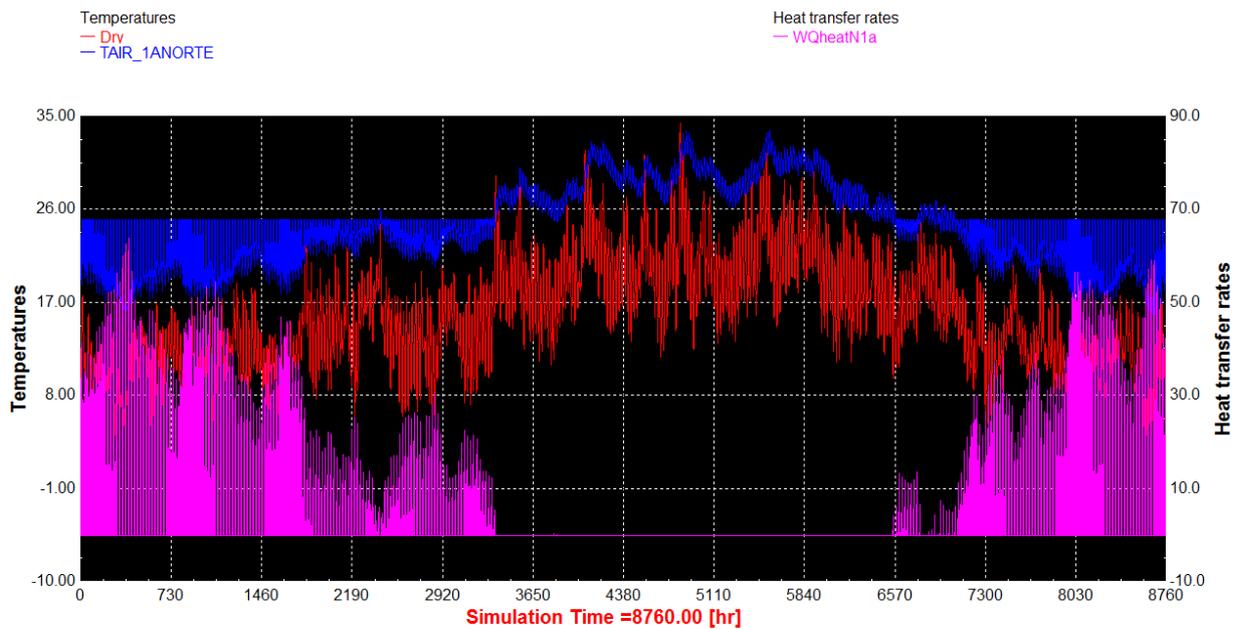
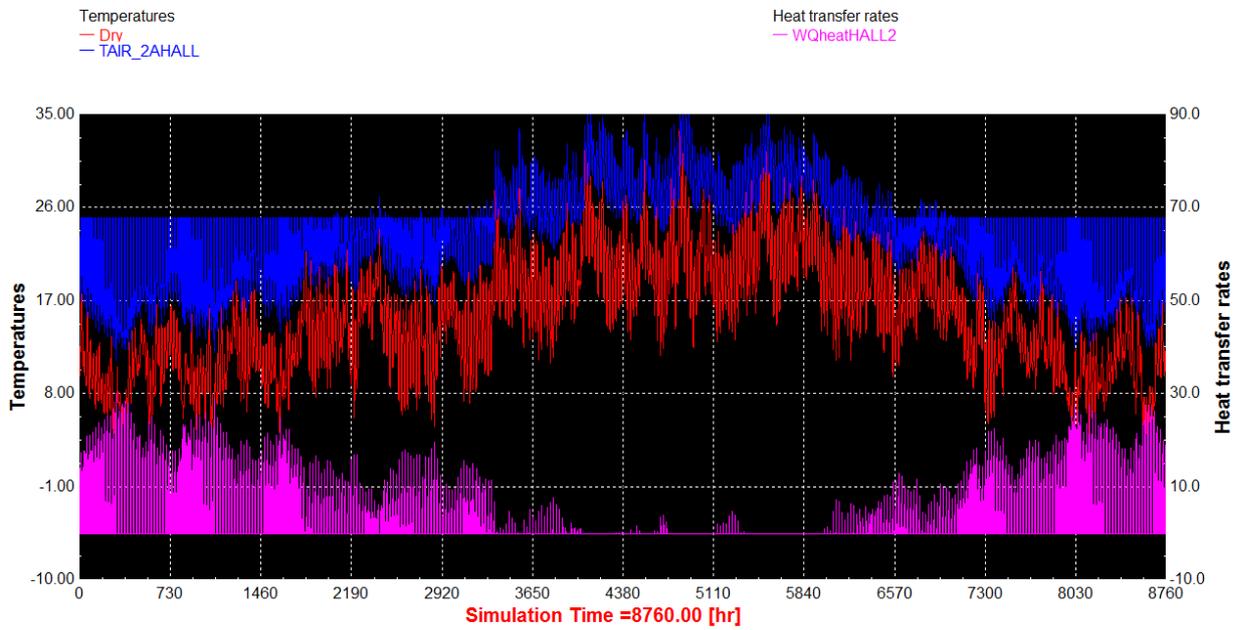


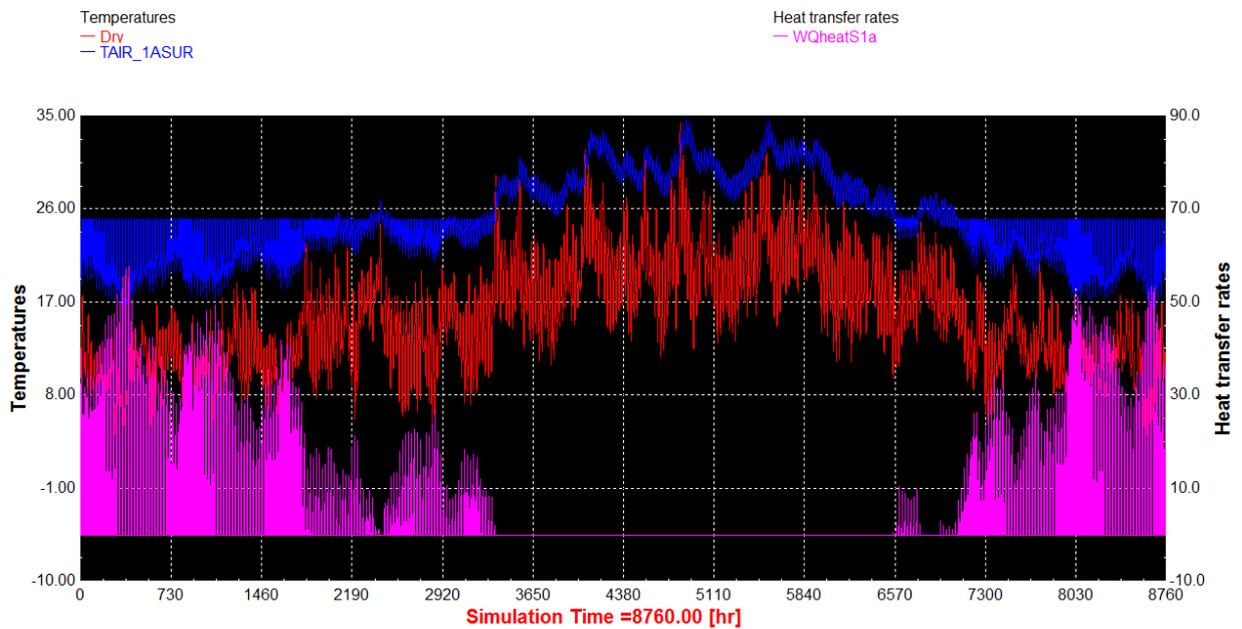
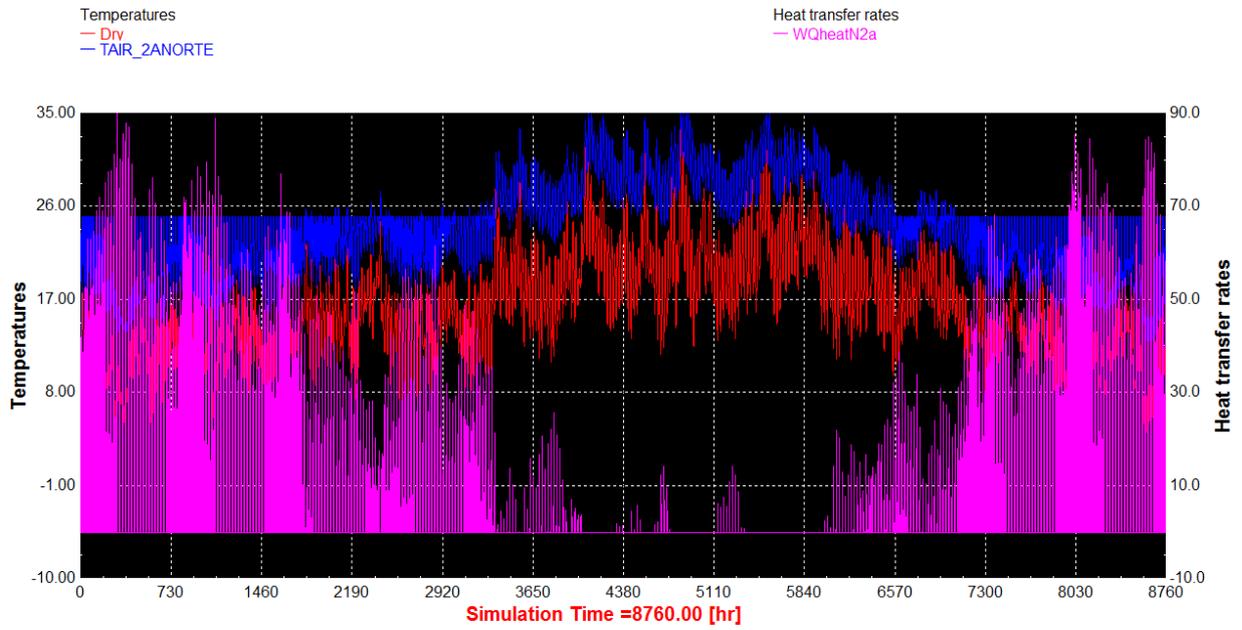




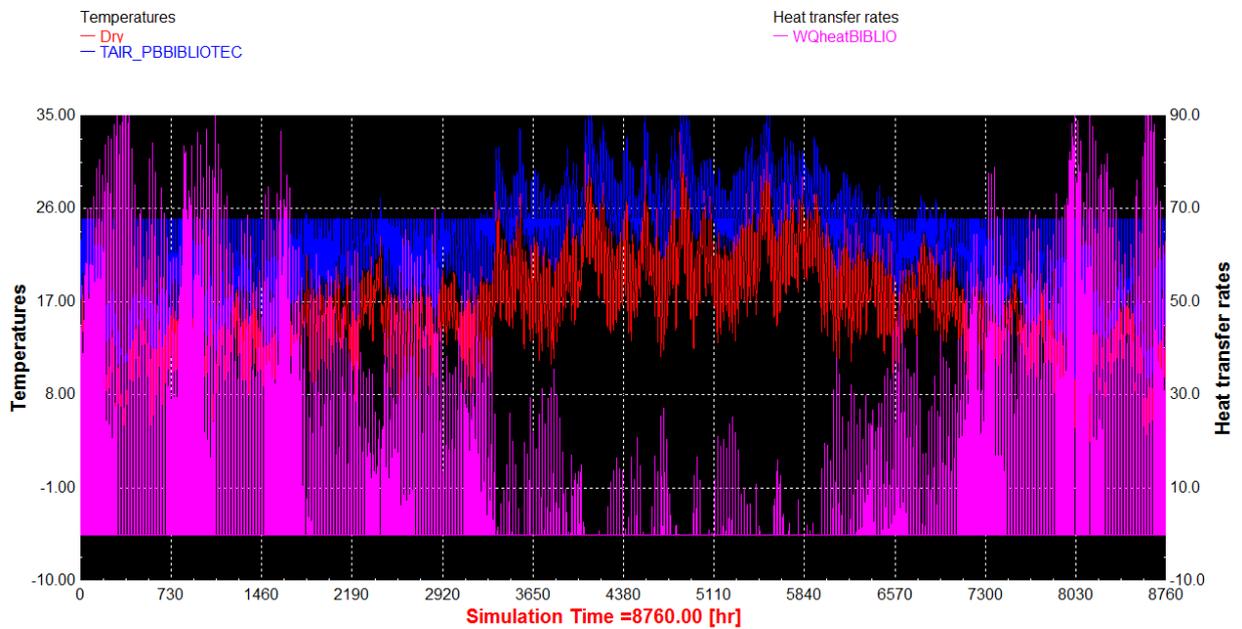
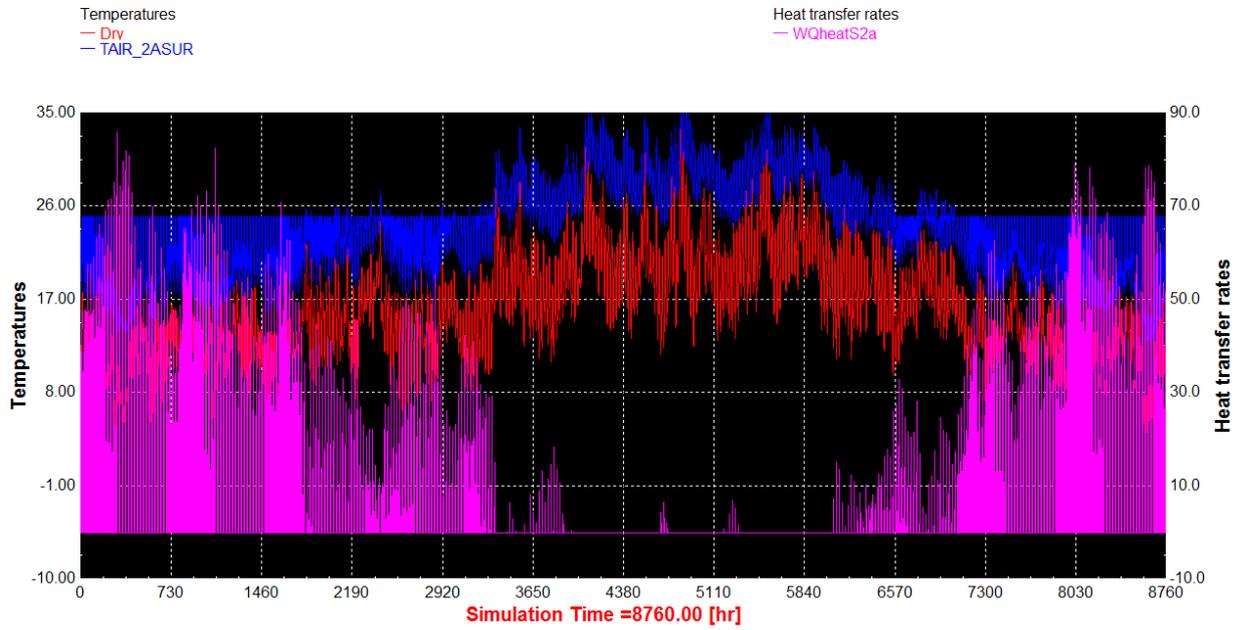
Aislamiento de cámaras



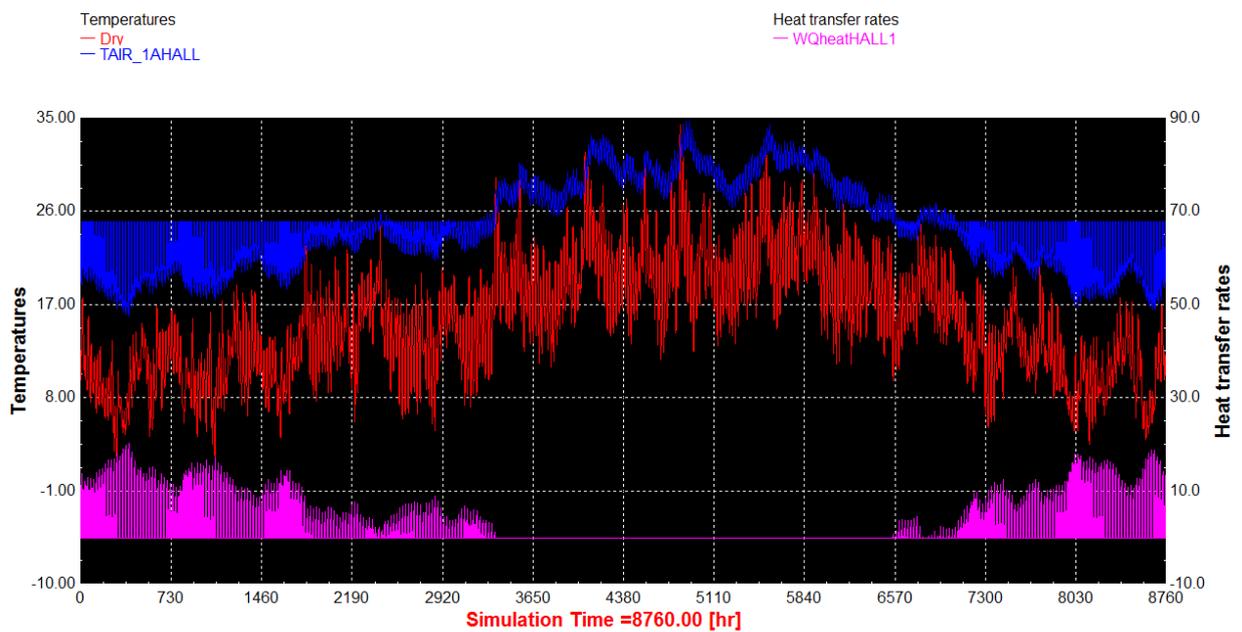
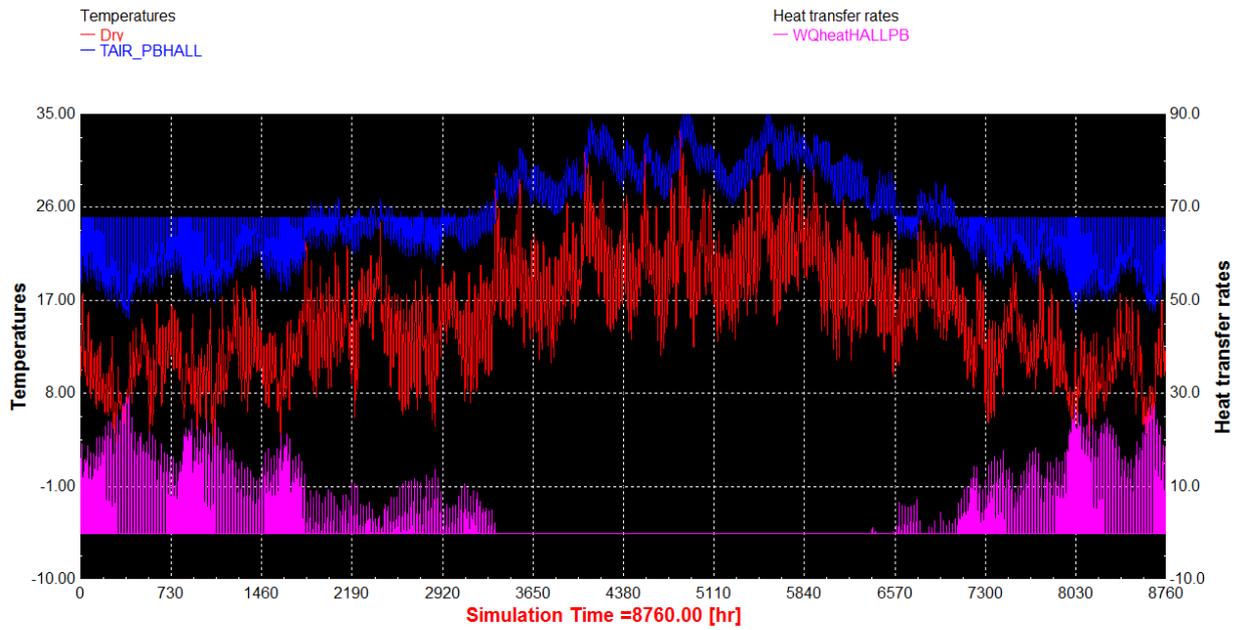


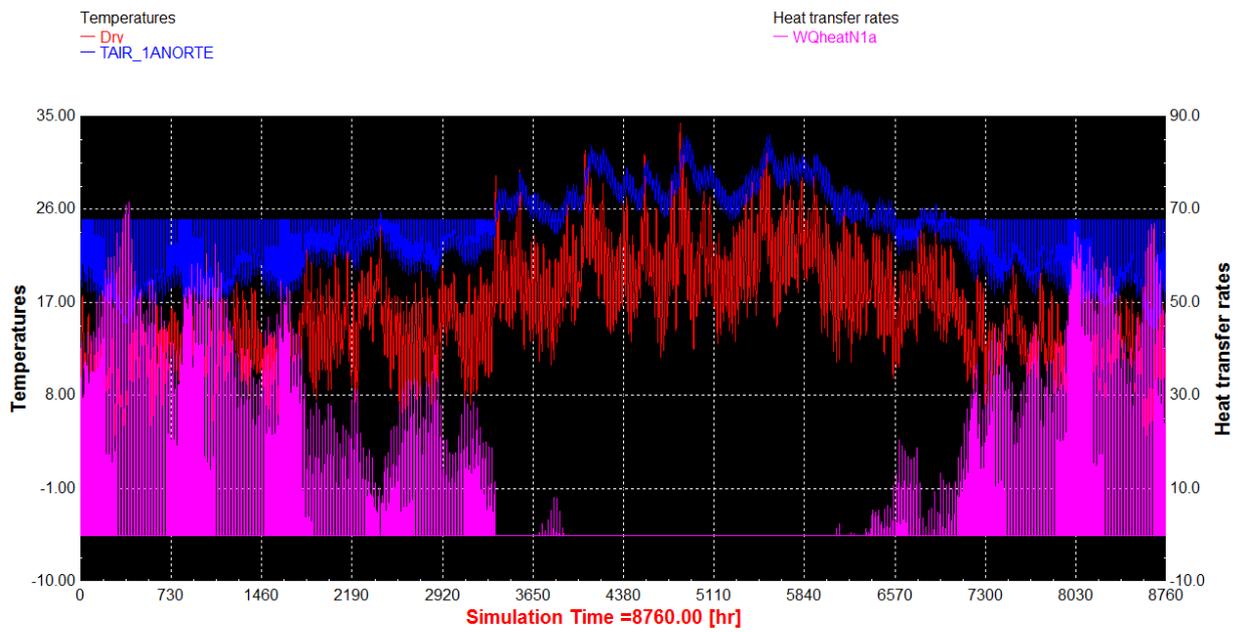
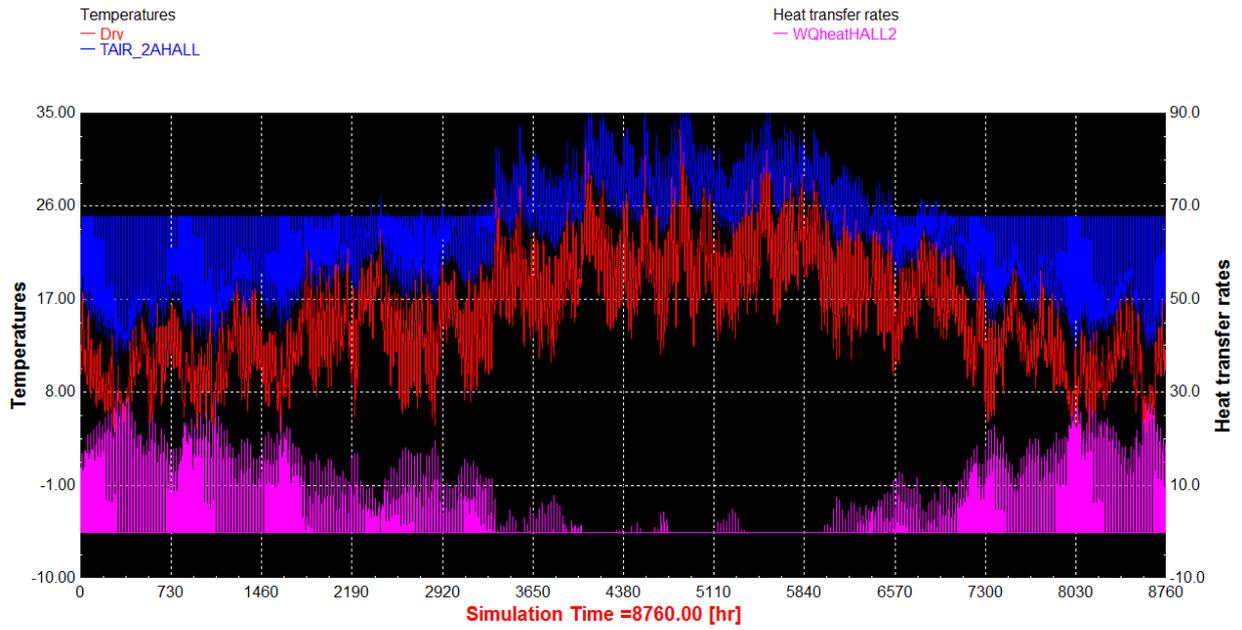


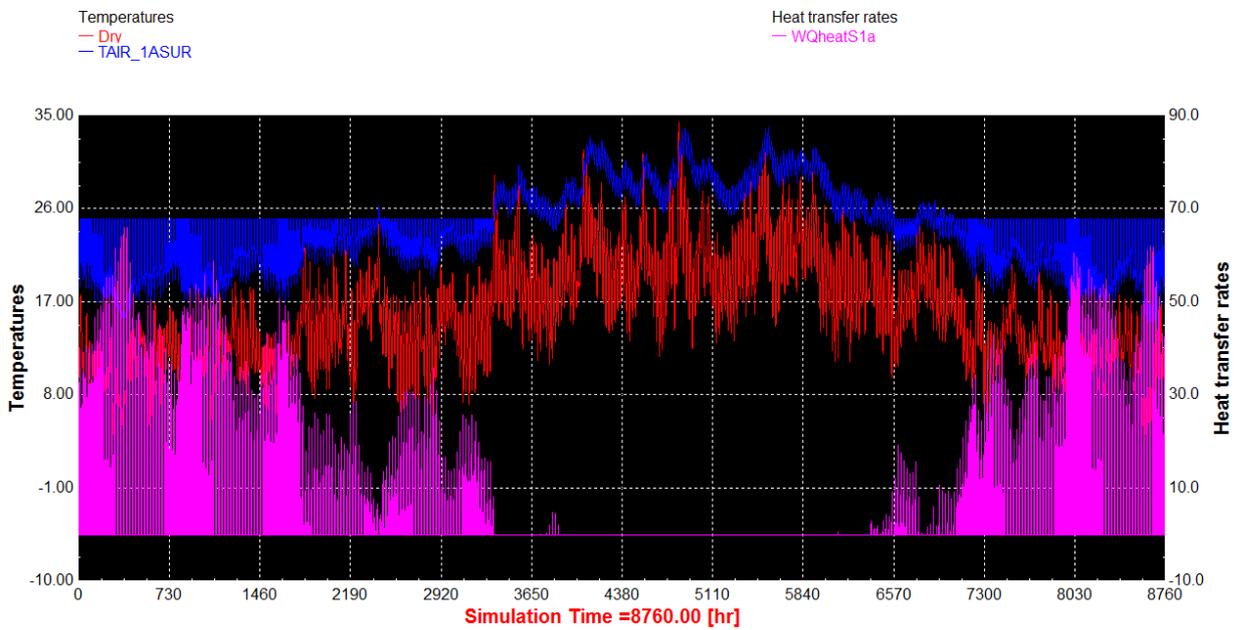
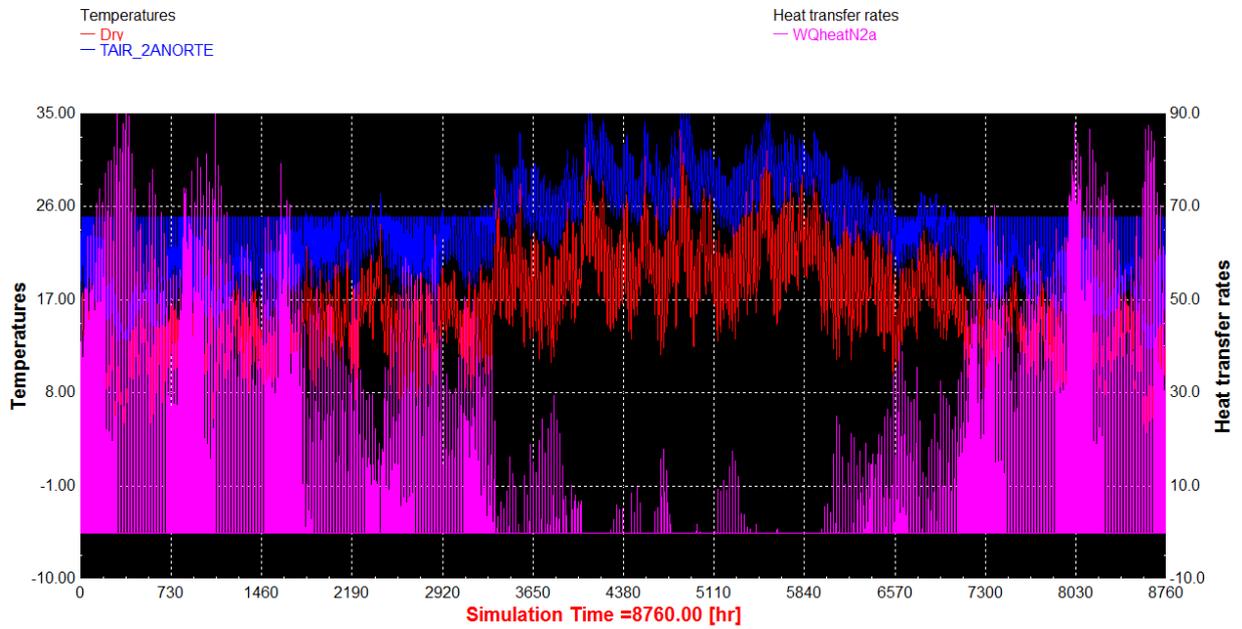
Influencia de la envolvente en demanda térmica y mejoras del Cuartel Francisco Moreno mediante simulación Trnsys.

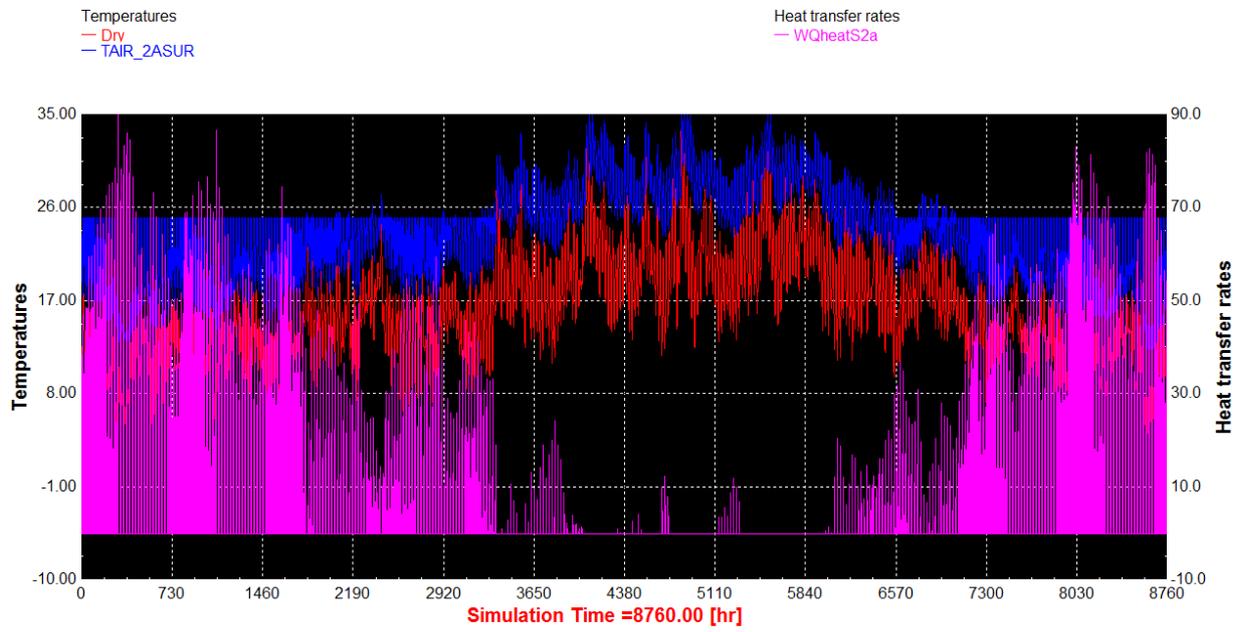


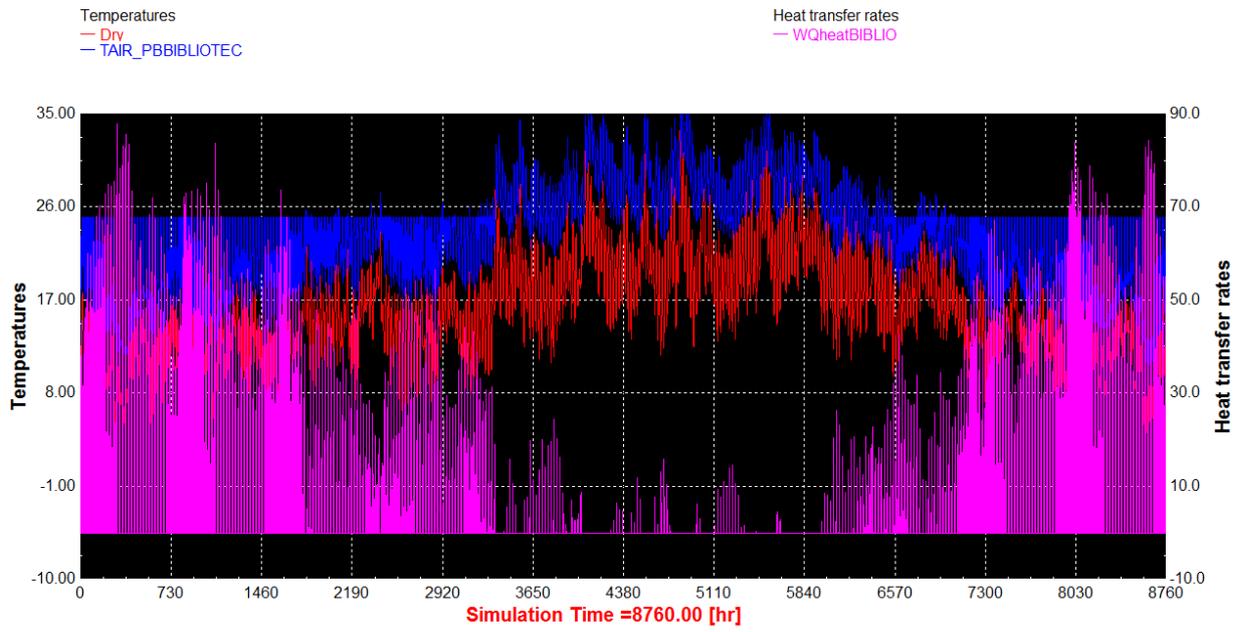
Doble Acristalamiento











ANEXO V: PRESUPUESTOS

ZFF040	m²	Sistema ETICS REDArt "ROCKWOOL" para aislamiento térmico por el exterior de fachada existente.
<p>Rehabilitación energética de fachada, mediante aislamiento térmico por el exterior, con el sistema REDArt "ROCKWOOL", con DITE - 13/0959, compuesto por: panel rígido de lana de roca volcánica de doble densidad (150 kg/m³ en la capa superior y 80 kg/m³ en la capa inferior), no revestido, Rocksate Duo "ROCKWOOL", de 50 mm de espesor, fijado al soporte mediante mortero REDArt Adhesivo "ROCKWOOL" y fijaciones mecánicas con taco de expansión con clavo, Ejotherm NTK U "ROCKWOOL"; capa de regularización de mortero polimérico REDArt Capa Base "ROCKWOOL", armado con malla de fibra de vidrio antiálcalis, REDArt Malla Estándar "ROCKWOOL", de 3,5x3,8 mm de luz, de 160 g/m² de masa superficial; revestimiento REDArt Acabado Silicato "ROCKWOOL", acabado grueso, color blanco, sobre imprimación, REDArt Imprimación Silicato "ROCKWOOL", color blanco.</p>		

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt28mop080e	m	Perfil de arranque de aluminio, de 50 mm de anchura, para nivelación y soporte de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior sobre la línea de zócalo.	0.170	9.80	1.67
mt28mao010a	kg	Mortero REDArt Adhesivo "ROCKWOOL", compuesto por cemento en polvo y polímeros sintéticos, para adherir los paneles aislantes, previo amasado con agua.	4.000	0.84	3.36
mt16lrw015ae	m ²	Panel rígido de lana de roca volcánica de doble densidad (150 kg/m ³ en la capa superior y 80 kg/m ³ en la capa inferior), no revestido, Rocksate Duo "ROCKWOOL", de 50 mm de espesor, según UNE-EN 13162, resistencia térmica 1,35 m ² K/W, conductividad térmica 0,036 W/(mK), Euroclase A1 de reacción al fuego, de aplicación como aislante térmico y acústico en sistemas compuestos de aislamiento por el exterior de fachadas.	1.050	12.50	13.13
mt28mao090b	Ud	Taco de expansión, Ejotherm NTK U 110 "ROCKWOOL", de 110 mm de longitud, con aro de estanqueidad y clavo para fijación de placas aislantes.	8.000	0.25	2.00
mt16aaa030	m	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.	0.440	0.30	0.13
mt28mao020a	kg	Mortero polimérico REDArt Capa Base "ROCKWOOL", para capa de refuerzo o para adherir los paneles aislantes, previo amasado con agua.	6.000	0.96	5.76
mt28mop070d	m	Perfil de esquina de PVC con malla, para remate lateral.	0.300	3.10	0.93
mt28mao070a	m ²	Malla de fibra de vidrio antiálcalis, REDArt Malla Estándar "ROCKWOOL", de 3,5x3,8 mm de luz, de 160 g/m ² de masa superficial, para armar morteros.	1.100	1.44	1.58
mt28mao030a	kg	Imprimación, REDArt Imprimación Silicato "ROCKWOOL", color blanco, compuesta por silicato potásico, resinas acrílicas en dispersión acuosa y pigmentos minerales; aplicable con rodillo, máquina de proyectar o cepillo.	0.350	3.08	1.08
mt28mao050a	kg	Revestimiento REDArt Acabado Silicato "ROCKWOOL", acabado grueso, color blanco, compuesto por silicato potásico, resinas acrílicas en dispersión acuosa y pigmentos minerales; aplicable con llana.	0.320	3.00	0.96
mo054	h	Oficial 1 ^a montador de aislamientos.	0.109	17.82	1.94
mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.	0.109	16.13	1.76
mo039	h	Oficial 1 ^a revocador.	0.656	17.24	11.31
mo079	h	Ayudante revocador.	0.656	16.13	10.58
	%	Medios auxiliares	2.000	56.19	1.12
	%	Costes indirectos	3.000	57.31	1.72
Coste de mantenimiento decenal: 2,95€ en los primeros 10 años.				Total [€/M²]	59.03

Aplicación a nuestro edificio (Superficie efectiva de fachada) m²

ZFI030	m ²	Sistema "ROCKWOOL" de aislamiento mediante la insuflación, desde el interior, de nódulos de lana mineral en cámaras.
Rehabilitación energética de fachada mediante insuflación, desde el interior, de aislamiento termoacústico de nódulos de lana de roca, Rockwool 001 "ROCKWOOL", con densidad 70 kg/m³ y conductividad térmica 0,042 W/(mK) , en el interior de la cámara de aire del cerramiento, de 100 mm de espesor medio; tapado de los taladros ejecutados en el paramento con posterior sellado; y capa de pintura plástica con textura lisa, color blanco , acabado mate , con una mano de fondo con imprimación a base de copolímeros acrílicos en suspensión acuosa y dos manos de acabado con pintura plástica (rendimiento: 0,187 l/m² cada mano) .		

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt16lrw011f	kg	Nódulos de lana de roca, Rockwool 001 "ROCKWOOL", densidad 70 kg/m ³ , calor específico 840 J/kgK y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3.	7.000	2.63	18.41
mt09moe080a	kg	Mortero de cemento, color gris, compuesto de cemento, áridos seleccionados y aditivos, tipo GP CSIII W2 según UNE-EN 998-1.	0.600	0.21	0.13
mt27pfj021a	kg	Plaste de interior y exterior de fraguado rápido, color gris, aplicado con espátula, llana o pistola.	0.200	4.37	0.87
mt27pfp010b	l	Imprimación a base de copolímeros acrílicos en suspensión acuosa, para favorecer la cohesión de soportes poco consistentes y la adherencia de pinturas.	0.125	3.30	0.41
mt27pij040a	l	Pintura plástica para interior en dispersión acuosa, lavable, tipo II según UNE 48243, permeable al vapor de agua, color blanco, acabado mate, aplicada con brocha, rodillo o pistola.	0.374	1.55	0.58
mq08mpa010	h	Maquinaria para insuflación de aislamiento en cámaras de aire.	0.115	13.00	1.50
mo030	h	Oficial 1ª aplicador de productos aislantes.	0.291	17.24	5.02
mo068	h	Ayudante aplicador de productos aislantes.	0.291	16.13	4.69
mo038	h	Oficial 1ª pintor.	0.174	17.24	3.00
mo076	h	Ayudante pintor.	0.025	16.13	0.40
	%	Medios auxiliares	2.000	35.01	0.70
	%	Costes indirectos	3.000	35.71	1.07
Coste de mantenimiento decenal: 9,05€ en los primeros 10 años.				Total	36.78

4231

155613

ZBV010	m²	Sustitución de vidrios de la carpintería exterior por acristalamiento con cámara "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR".
Rehabilitación energética de cerramientos de huecos de fachada, mediante el desmontaje del acristalamiento existente en la carpintería exterior, fijado sobre carpintería, con medios manuales y carga manual del material desmontado sobre camión o contenedor, y sustitución por doble acristalamiento Aislaglas "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", 6/6/6 , de 18 mm de espesor total, con calzos y sellado continuo .		

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Preci	Precio partida
mt21veu011aeaca	m ²	Doble acristalamiento Aislaglas "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", conjunto formado por vidrio exterior Float incoloro de 6 mm, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 6 mm, y vidrio interior Float incoloro de 6 mm de espesor, para hojas de vidrio de superficie menor de 2 m ² .	1.006	####	42.35
mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicona sintética incolora Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0.580	2.47	1.43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para la colocación de vidrios.	1.000	1.26	1.26
mo055	h	Oficial 1 ^a cristalero.	0.493	####	9.18
mo110	h	Ayudante cristalero.	0.493	####	8.59
	%	Medios auxiliares	2.000	####	1.26
	%	Costes indirectos	3.000	####	1.92
Coste de mantenimiento decenal: 13,86€ en los primeros 10 años.				Total:	65.99

ZBV010	m²	Sustitución de vidrios de la carpintería exterior por acristalamiento con cámara "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR".
Rehabilitación energética de cerramientos de huecos de fachada, mediante el desmontaje del acristalamiento existente en la carpintería exterior, fijado sobre carpintería, con medios manuales y carga manual del material desmontado sobre camión o contenedor, y sustitución por doble acristalamiento Aislaglas "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", 6/6/6 , de 18 mm de espesor total, con calzos y sellado continuo .		

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio	Precio partida
mt21veu011aeacd	m ²	Doble acristalamiento Aislaglas "CONTROL GLASS ACÚSTICO Y SOLAR", conjunto formado por vidrio exterior Float incoloro de 6 mm, cámara de aire deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 6 mm, y vidrio interior Float incoloro de 6 mm de espesor, para hojas de vidrio de superficie entre 4 y 5 m ² .	1.006	45.70	45.97
mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicona sintética incolora Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0.580	2.47	1.43
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para la colocación de vidrios.	1.000	1.26	1.26
mo055	h	Oficial 1 ^a cristalero.	0.493	18.62	9.18
mo110	h	Ayudante cristalero.	0.493	17.42	8.59
	%	Medios auxiliares	2.000	66.43	1.33
	%	Costes indirectos	3.000	67.76	2.03
Coste de mantenimiento decenal: 14,66€ en los primeros 10 años.				Total:	69.79

