



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

Análisis del sistema de climatización del Centro Universitario de la Defensa

Grado en Ingeniería Mecánica

ALUMNO: Marino Fernández-Bravo Casado

DIRECTORES: Antón Cacabelos Reyes

CURSO ACADÉMICO: 2015-2016

Universida_{de}Vigo



Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar

TRABAJO FIN DE GRADO

*Análisis del sistema de climatización del Centro Universitario de
la Defensa*

Grado en Ingeniería Mecánica
Intensificación en Tecnología Naval
Cuerpo General

UniversidadeVigo

RESUMEN

El presente trabajo va a abordar el estudio del sistema de climatización que posee actualmente el edificio del Centro Universitario de la Defensa de la Escuela Naval Militar de Marín, Pontevedra. Este estudio se va a realizar a través de programas de simulación térmica.

El principal objetivo de este estudio es confeccionar un modelo térmico del edificio en estudio y realizar una comparativa entre los datos teóricos de la simulación y los datos reales de consumos y temperaturas del edificio.

Para realizar dicho estudio se ha construido un modelado del edificio en 3D donde se define la geometría del edificio así como su orientación y las condiciones de contorno. Este modelo se exporta a un programa de simulación térmica dónde se incluyen las características técnicas del edificio, los diferentes sistemas de climatización presentes en el mismo así como las diferentes ganancias térmicas. Para el estudio, también se tiene en cuenta la influencia de la meteorología de la zona, incluyéndola en la simulación.

Una vez realizado el modelo térmico del edificio y el de sus instalaciones, se ha podido comparar los datos reales iniciales con los obtenidos a partir de la simulación. Se puede afirmar que, para las temperaturas de consigna establecidas, el consumo de la bomba de calor que proporciona la climatización al Centro Universitario de la Defensa se encuentra dentro del orden de magnitud de los datos reales a pesar de las simplificaciones llevadas a cabo en el estudio, demostrando así el buen funcionamiento del modelo térmico.

PALABRAS CLAVE

Edificio, climatización, ganancia, modelo térmico, cerramientos, simulación térmica

AGRADECIMIENTOS

A mis padres.

A mi tutor, por ayudarme siempre que lo he necesitado.

A mis compañeros y amigos.

A todos los que me ayudaron a llegar hasta aquí.

CONTENIDO

Contenido	1
Índice de Figuras	3
Índice de Tablas.....	7
1 Introducción y objetivos	9
1.1 Introducción a la Climatización	9
1.2 Objetivos	10
1.3 Estructuración del Trabajo	10
2 Estado del arte	13
2.1 Reglamentos. RITE y CTE	13
2.1.1 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)	13
2.1.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)	14
2.2 Simulación térmica de edificios	14
2.2.1 Objetivos de la simulación térmica de edificios	14
2.2.2 Programas de simulación térmica de edificios	15
2.2.3 Simulación térmica a través de los modelos matemáticos.....	15
2.2.4 Formación del modelo-D geométrico	16
2.2.5 Formación del modelo-D físico	17
2.3 Conceptos básicos	18
2.4 Confort Térmico.....	20
2.4.1 Factores que afectan al confort térmico	21
2.4.2 Medidas Preventivas	22
2.5 Cargas Térmicas.....	22
2.6 Cerramientos y envolvente térmica.....	24
2.7 Gestión de la demanda energética.....	25
2.8 Sistemas de climatización	25
2.8.1 Sistemas Aire-Agua	26
2.8.2 Sistemas todo Aire	26
2.8.3 Sistemas todo Agua	27
2.8.4 Sistemas todo Refrigerante	27
3 Elementos del TFG.....	29
3.1 Descripción del edificio	29
3.1.1 Situación y uso.....	29
3.1.2 Características técnicas	30

3.2 Elementos de climatización	32
3.2.1 Bomba de calor Aire-Agua	32
3.2.2 Fancoils.....	34
3.3 Softwares empleados.....	36
3.3.1 Sketchup	36
3.3.2 Trnsys	36
3.3.3 Meteonorm.....	37
4 Desarrollo del TFG.....	39
4.1 Secuencia de trabajo.....	39
4.2 Modelado del edificio en Sketchup.....	40
4.2.1 Proceso.....	40
4.3 Simulación térmica del edificio en Trnsys.....	43
4.3.1 Definición de los parámetros del edificio en Trnbuild	45
4.3.2 Implementación de los elementos en Trnsys	54
5 Resultados / Validación / Prueba.....	69
5.1 Monitorización de los resultados	69
5.2 Comparación datos de consumo Bomba de calor	97
6 Conclusiones y líneas futuras	101
6.1 Conclusiones	101
6.2 Líneas futuras	102
7 Bibliografía.....	103
Anexo I: Inventario del proyecto: Pontevedra/ Marín/ Escuela Naval/ Edificio administrativo para el Centro adscrito Universitario de la Defensa	105

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2-1 Posición del cerramiento y sentido flujo calor [4].....	20
Figura 2-2 Confort térmico [6].....	20
Figura 2-3 Intercambio de calor [8]	22
Figura 2-4 Flujo de calor en cerramientos [10].....	25
Figura 2-5 Sistema Aire-Agua [11].....	26
Figura 2-6 Sistema todo Aire [11].....	27
Figura 2-7 Sistema todo Agua [11]	27
Figura 2-8 Sistema todo Refrigerante [11].....	28
Figura 3-1 Vista aérea Escuela Naval Militar [11].....	30
Figura 3-2 Vista aérea edificio CUD [12].....	30
Figura 3-3 Vista fachada norte edificio CUD.....	31
Figura 3-4 Bomba de calor del edificio	33
Figura 3-5 Tabla datos fancoils [14]	34
Figura 3-6 Ejemplo de fancoil [14]	35
Figura 3-7 Ejemplo plenum de un fancoil.....	35
Figura 3-8 Logo Sketchup [15]	36
Figura 3-9 Logo Trnsys [16]	37
Figura 3-10 Logo Meteonorm [17]	37
Figura 4-1 Esquema empleo softwares.....	39
Figura 4-2 Barra de herramientas Trnsys en Sketchup	40
Figura 4-3 Diseño modelo en Sketchup	41
Figura 4-4 Vista fachada sur del edificio	42
Figura 4-5 Diseño final del edificio en Sketchup.....	43
Figura 4-6 Vista inicial de Trnsys	44
Figura 4-7 Librerías de Trnsys	44
Figura 4-8 Interfaz de Trnbuild	45
Figura 4-9 Materiales y grosores techo adyacente	46
Figura 4-10 Materiales y grosores de techo fronterizo.....	46
Figura 4-11 Materiales y grosores del suelo planta baja	46
Figura 4-12 Materiales y grosores de suelo exterior	47
Figura 4-13 Materiales y grosores pared adyacente	47
Figura 4-14 Materiales y grosores de pared exterior planta baja	47
Figura 4-15 Materiales y grosores de pared exterior planta superior	48

Figura 4-16 Ventilación.....	50
Figura 4-17 Calendario semanal en Trnbuild.....	53
Figura 4-18 Cuadro de ganancias en Trnbuild	54
Figura 4-19 Icono type941	54
Figura 4-20 Cuadro parámetros bomba de calor	55
Figura 4-21 Tabla coeficientes de calefacción bomba de calor	55
Figura 4-22 Tabla potencia calefacción bomba de calor.....	56
Figura 4-23 Tabla coeficientes enfriamiento bomba de calor.....	57
Figura 4-24 Tabla datos poder enfriamiento bomba de calor.....	58
Figura 4-25 Icono type600	59
Figura 4-26 Icono equation fancoils.....	59
Figura 4-27 Script equation fancoils	60
Figura 4-28 Cuadro parámetros fancoils	60
Figura 4-29 Icono type649	61
Figura 4-30 Icono type3d	61
Figura 4-31 Icono type534	61
Figura 4-32 Icono type2-AquastatH.....	62
Figura 4-33 Icono type647	62
Figura 4-34 Icono type698	62
Figura 4-35 Icono type515	63
Figura 4-36 Configuración Type515.....	63
Figura 4-37 Icono equation	63
Figura 4-38 Cuadro equation.....	64
Figura 4-39 Script funcionamiento fancoils.....	64
Figura 4-40 Script parámetros bomba de calor	64
Figura 4-41 Script funcionamiento bomba de calor.....	65
Figura 4-42 Ejemplo unión entre types	65
Figura 4-43 Ejemplo unión de inputs y outpus entre types.....	65
Figura 4-44 Icono type65d	66
Figura 4-45 Icono type55	66
Figura 4-46 Icono type125	66
Figura 4-47 Sistema definitivo en trnsys.....	67
Figura 5-1 Temperaturas zonas año completo.....	70
Figura 5-2 Temperatura zona Sur Baja año completo.....	70
Figura 5-3 Temperatura zona Norte Baja año completo	71
Figura 5-4 Temperatura zona Sur Superior año completo	71

Figura 5-5 Temperatura zona Norte Superior año completo.....	72
Figura 5-6 Trabajo bomba de calor año completo.....	72
Figura 5-7 Trabajo bomba de calor zona Sur Baja año completo	73
Figura 5-8 Trabajo bomba de calor zona Norte Baja año completo.....	73
Figura 5-9 Trabajo bomba de calor zona Sur Superior año completo.....	74
Figura 5-10 Trabajo bomba de calor zona Norte Superior año completo	74
Figura 5-11 Consumo bomba de calor año completo.....	75
Figura 5-12 Temperaturas zonas enero	75
Figura 5-13 Trabajo bomba de calor zonas Baja enero.....	76
Figura 5-14 Trabajo bomba de calor zonas Superiores enero	76
Figura 5-15 Consumo bomba de calor enero	77
Figura 5-16 Temperatura zonas febrero	77
Figura 5-17 Trabajo bomba de calor zonas Baja febrero	78
Figura 5-18 Trabajo bomba de calor zonas Superiores febrero	78
Figura 5-19 Consumo bomba de calor febrero.....	79
Figura 5-20 Temperatura zonas marzo.....	79
Figura 5-21 Trabajo bomba de calor zonas Bajas marzo	80
Figura 5-22 Trabajo bomba de calor zonas Superiores marzo	80
Figura 5-23 Consumo bomba de calor marzo	80
Figura 5-24 Temperatura zonas abril	81
Figura 5-25 Trabajo bomba de calor zonas Bajas abril.....	81
Figura 5-26 Trabajo bomba de calor zonas Superiores abril.....	82
Figura 5-27 Consumo bomba de calor abril.....	82
Figura 5-28 Temperatura zonas mayo	83
Figura 5-29 Trabajo bomba de calor zonas Bajas mayo	83
Figura 5-30 Trabajo bomba de calor zonas Superiores mayo	84
Figura 5-31 Consumo bomba de calor mayo	84
Figura 5-32 Temperatura zonas junio.....	85
Figura 5-33 Trabajo bomba de calor zonas Bajas junio	85
Figura 5-34 Trabajo bomba de calor zonas Superiores junio.....	85
Figura 5-35 Consumo bomba de calor junio	86
Figura 5-36 Temperatura zonas julio	86
Figura 5-37 Trabajo bomba de calor zonas bajas julio	87
Figura 5-38 Trabajo bomba de calor zonas Superiores julio.....	87
Figura 5-39 Consumo bomba de calor julio.....	87

Figura 5-40 Temperatura zonas agosto	88
Figura 5-41 Trabajo bomba de calor zonas Bajas agosto.....	88
Figura 5-42 Trabajo bomba de calor zonas Superiores agosto.....	89
Figura 5-43 Consumo bomba de calor agosto.....	89
Figura 5-44 Temperatura zonas septiembre	90
Figura 5-45 Trabajo bomba de calor zonas Bajas septiembre.....	90
Figura 5-46 Trabajo bomba de calor zonas Superiores septiembre	90
Figura 5-47 Consumo bomba de calor septiembre.....	91
Figura 5-48 Temperatura zonas octubre.....	91
Figura 5-49 Trabajo bomba de calor zonas Bajas octubre	92
Figura 5-50 Trabajo bomba de calor zonas Superiores octubre	92
Figura 5-51 Consumo bomba de calor octubre	93
Figura 5-52 Temperatura zonas noviembre.....	93
Figura 5-53 Trabajo bomba de calor zonas Bajas noviembre	94
Figura 5-54 Trabajo bomba de calor zonas Superiores noviembre.....	94
Figura 5-55 Consumo bomba de calor noviembre	94
Figura 5-56 Temperatura zonas diciembre.....	95
Figura 5-57 Trabajo bomba de calor zonas Bajas diciembre	95
Figura 5-58 Trabajo bomba de calor zonas Superiores diciembre	96
Figura 5-59 Consumo bomba de calor diciembre	96
Figura 5-60 Gráfico consumo modelo simulado.....	98
Figura 5-61 Gráfico consumo año 2012.....	99
Figura 5-62 Gráfico consumo 2013.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3-1 Características ventanas del edificio	32
Tabla 3-2 Características bomba de calor	33
Tabla 3-3 Distribución de los fancoil	35
Tabla 4-1 Medidas zonas térmicas	41
Tabla 4-2 Cerramientos del edificio	49
Tabla 4-3 Características de los cerramientos	50
Tabla 4-4 Calendario planta Sur baja semana A	51
Tabla 4-5 Calendario planta Sur baja semana B	51
Tabla 4-6 Calendario planta Norte baja semana A.....	51
Tabla 4-7 Calendario planta Norte baja semana B.....	52
Tabla 4-8 Calendario planta Sur superior.....	52
Tabla 4-9 Calendario planta Norte superior	52
Tabla 4-10 Potencia lumínica.....	53
Tabla 4-11 Datos coeficientes de calefacción bomba de calor.....	56
Tabla 4-12 Datos poder de calefacción bomba de calor.....	57
Tabla 4-13 Datos coeficientes de enfriamiento bomba de calor	58
Tabla 4-14 Datos poder enfriamiento bomba de calor	58
Tabla 5-1 Consumos modelo simulado	97
Tabla 5-2 Consumo eléctrico edificio 2012	98
Tabla 5-3 Consumo eléctrico edificio 2013	99

1 INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

1.1 Introducción a la Climatización

El presente proyecto pretende abordar el estudio de la climatización en el edificio en el que se encuentra actualmente el Centro Universitario de la Defensa en la Escuela Naval Militar de Marín, Pontevedra. Para llevar a cabo tal estudio se hará uso de una serie de programas informáticos que serán de gran ayuda a la hora de realizar una correcta simulación en la cual se relacionarán las características del propio edificio como las del ambiente que lo rodea y envuelve.

La importancia de la correcta climatización de los espacios cerrados surge a partir de la propia necesidad de los seres humanos de mantener una adecuada y correcta temperatura corporal como base para la vida. Para conseguir que exista una comodidad palpable dentro de espacios habitados, la calidad del aire que se respira, la humedad y la temperatura serán las condiciones más relevantes a tener en cuenta.

El concepto de climatización está definido por la normativa española como: *“dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas”*. [1]

No debemos cometer el común error de relacionar la climatización únicamente con la refrigeración de un espacio cerrado debido al calor, ya que como podemos leer en su propia definición, es un concepto que no solo se centra en la climatización en períodos calurosos como pueden ser los meses de verano, sino además, también durante los meses de invierno, en la cuál es necesario realizar una climatización conocida con el nombre de calefacción, debido al brusco descenso de las temperaturas. A éstos dos conceptos se les une un tercero conocido como ventilación, ya que, como se comentaba anteriormente un factor a tener en cuenta siempre es la calidad del aire del interior de estos espacios cerrados, por lo que por medio de una correcta ventilación podremos controlar esta condición.

En inglés, el concepto climatización es conocido como Heating, Ventilating and Air Conditioning, o bien por las siglas HVAC. De nuevo aparecen tres conceptos separados, por un lado Heating referente a la calefacción, Ventilating, relacionado a la ventilación y por último Air Conditioning cuya traducción literal hace referencia al aire acondicionado, aunque es evidente que en este contexto se refiere a la refrigeración.

La climatización puede ser tanto natural como artificial, aunque para el siguiente estudio nos centraremos en la artificial y sus factores a tener en cuenta.

1.2 Objetivos

El objetivo y meta principal del siguiente proyecto es el estudio de la climatización y la realización de un modelo térmico del edificio del Centro Universitario de la Defensa. Esta construcción se encuadra actualmente dentro de la Escuela Naval Militar de Marín, Pontevedra. Para ello será necesario conocer las características de dicho edificio, tanto técnicas como constructivas, así como su emplazamiento, para poder relacionarlas todas ellas y así conseguir una información real acerca de la actual situación en la que se encuentra tal edificio en lo que a condiciones de climatización se refiere.

La influencia de las condiciones atmosféricas propias de la zona donde se encuadra durante el transcurso de un año natural, será un factor importante a estudiar ya que tendrán especial relevancia a la hora de determinar si el edificio cumple con los requisitos de comodidad y confort requeridos por el personal que allí trabajan. El uso continuado de las instalaciones por parte de profesores, alumnos y demás personal de oficina obliga a establecer unas condiciones óptimas de trabajo para conseguir así el máximo rendimiento académico requerido.

El modelo térmico que vamos a realizar en el siguiente proyecto nos servirá para conocer y analizar en qué manera influyen en el edificio los diferentes agentes externos e internos. Por agentes externos entendemos la meteorología y la influencia de los rayos solares; mientras que por internos nos referimos a las características constructivas del edificio así como el uso que sus ocupantes dan de él.

Estudiaremos los sistemas de climatización de los que dispone el edificio para poder determinar la forma en la que estos trabajan e influyen en las diferentes zonas térmicas. Realizaremos un estudio del consumo de la bomba de calor del edificio a lo largo de un año natural para poder hacer una comparativa de los datos reales de consumos de los que disponemos. Estos datos de consumo eléctrico son generales del edificio y no son los específicos de la bomba de calor, por lo que uno de los objetivos del proyecto será poder definir de manera aproximada cuanto es realmente este consumo por parte de la bomba para en el futuro poder usarlo como base a la hora de determinar si ese es su consumo real.

1.3 Estructuración del Trabajo

El siguiente trabajo se divide en una serie de apartados que tratan de exponer lo anteriormente descrito en los objetivos de manera clara y ordenada. Comenzaremos con un Estado del Arte en el que expondremos una introducción a la simulación térmica de edificios para entender mejor este concepto y así saber qué es lo que se pretende conseguir a través del modelo térmico. A continuación, explicaremos una serie de conceptos básicos necesarios en todo estudio de las características térmicas de un edificio como son los agentes que en él influyen y la relación existente entre todos ellos. Expondremos a continuación las características de nuestro edificio para poder conocer los elementos que lo conforman. Hablaremos del sistema de climatización del que dispone el edificio para comprender mejor su funcionamiento y características. Realizaremos una breve introducción a los softwares informáticos que vamos a utilizar para llevar a cabo la simulación y así entender mejor su funcionamiento y utilidad.

Una vez expuestas las características y elementos del sistema pasaremos a explicar cómo se elabora el modelo térmico y su implementación en un programa de simulación térmica en el que además definiremos el resto de elementos que en él influyen. Tras esto, realizaremos la simulación y con los resultados obtenidos podremos realizar las comparativas y comentarios necesarios para el análisis. Una vez comparado el modelo con los datos reales llegaremos a una serie de conclusiones que

pondrán el punto de partida para una serie de acciones futuras que permitirán seguir trabajando en la línea de este proyecto.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 Reglamentos. RITE y CTE

La actual normativa española (CTE – Código Técnico de la Edificación; RITE – Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios y Real Decreto 47/2007 de Certificación Energética de Edificios de Nueva Construcción), surgen como consecuencia de la directivas europeas SAVE y EPBD para limitar la emisión de gases de efecto invernadero en lo que respecta a los edificios y así mitigar el calentamiento global y fomentar la eficiencia energética de los edificios. [2]

2.1.1 Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE)

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE), establece las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a atender la demanda de bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria, para conseguir un uso racional de la energía. [1]

Tendrán consideración de instalación térmica aquellas instalaciones de climatización que sean fijas, ya sean de ventilación, refrigeración o calefacción, además de las instalaciones destinadas a la producción de agua caliente sanitaria.

La exigencia de calidad térmica del ambiente se considera satisfecha en el diseño y dimensionado de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa, temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire e intensidad de la turbulencia se mantienen en la zona ocupada dentro de los valores establecidos a continuación. [1]

Según la actividad metabólica de las personas, la ropa que lleven puesta y el porcentaje aproximado de personas insatisfechos, se podrán fijar las condiciones interiores de diseño de la humedad relativa y de la temperatura operativa. En lo que a estándares se refiere, podremos diferenciar dos períodos principales, a saber, invierno y verano. Para la estación de verano, se fijarán unas condiciones de humedad relativa de entre el 45- 60%, y una temperatura operativa de entre 23-25°C. Por otro lado, durante el invierno, la humedad relativa deberá ser de entre el 40-50% y la temperatura operativa ente 21-23°C. Los límites de la velocidad del aire en una zona ocupada deberán estar fijados. Para ello, se deberá tener en cuenta la actividad y vestimenta de las personas, además de la temperatura del aire.

2.1.2 Código Técnico de la Edificación (CTE)

El Código Técnico de la Edificación (CTE) es el marco normativo que establece las exigencias que deben cumplir los edificios en relación con los requisitos básicos de seguridad y habitabilidad establecidos en la Ley 38/1999 de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación (LOE). [3]

Dentro de éste código encontramos una serie de documentos relacionados con el ahorro de energía, cuya finalidad no es otra que la de fijar unas determinadas normas y procedimientos para permitir que se lleven a cabo las medidas básicas de ahorro energético. Uno de esos documentos es el Documento Básico (DB), cuyo contenido va en la línea y se asemeja bastante a lo anteriormente descrito en Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). Dicho documento se apoya directamente en una serie de documentos conocidos con el nombre de Documentos de Apoyo (DA). Ésta serie de documentos son:

- **DA DB-HE/1:** Cálculo de parámetros característicos de la envolvente
- **DA DB-HE/2:** Comprobación de limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos
- **DA DB-HE/3:** Puentes térmicos
- **DA Climas referencia:** Documento descriptivo climas de referencia.

2.2 Simulación térmica de edificios

La información del siguiente apartado se ha tomado de [2].

Esta normativa ha dado lugar a que se desarrollen distintos programas informáticos para verificar su cumplimiento, (LIDER para el cumplimiento del CTE DB HE1) y CALENER (en lo que respecta a la certificación energética de edificios). Además, dicha normativa permite el uso de otros programas alternativos reconocidos oficialmente.

Acorde con el desarrollo tecnológico actual, han ido apareciendo programas informáticos que nos permiten controlar el comportamiento térmico y energético de edificios a través de simulaciones, las cuales se pueden realizar incluso desde ordenadores particulares. Esta posibilidad reduce el gasto, debido a que hacer una estimación por ordenador es mucho más económico ya que se pueden tomar decisiones antes de la construcción del edificio.

Mantener las condiciones idóneas de un local a través de la búsqueda de los límites necesarios de potencia y capacidad, tanto de calefacción como de refrigeración, era la principal preocupación. Debido a esto, surgieron en el mercado multitud de los llamados “programas de cálculo de cargas térmicas por ordenador”. El problema era que estaban más centrados en la búsqueda de las condiciones límite de una instalación, más que en su posterior uso y mantenimiento.

2.2.1 Objetivos de la simulación térmica de edificios

Conocer una determinada característica o regulación del sistema durante un período de tiempo establecido es el principal objetivo de la simulación térmica. Hay ciertas condiciones o restricciones que influyen en el objetivo y que deben tenerse en cuenta durante la optimización. La mayoría de las veces, tales restricciones suelen estar fijadas por la administración, como puede ser la ventilación, las temperaturas de consigna, el uso que le den sus ocupantes, etc.

Para poder integrar las máquinas y sus respectivas prestaciones dependiendo de las condiciones de trabajo puntuales en cada instante de tiempo, es necesario estimar el comportamiento térmico de las

distintas zonas que conforman el edificio. El tipo de edificio, sus características térmicas, el uso y control que se establezca y las condiciones ambientales dependientes de la zona climática, van a hacer que la demanda de cada una de las contribuciones varíe mucho a lo largo del tiempo. Es importante además, tener en cuenta el concepto de inercia térmica, ya que también afectará a la demanda del edificio ya que consiste en la velocidad con la que cualquier variación de las condiciones ambientales, control o uso, producen sobre las condiciones térmicas del interior de una zona. Para aproximarnos a la demanda real es necesaria la simulación térmica, ya que esta inercia no es nunca despreciable. Para establecer con precisión y rigor la demanda energética del edificio no podremos hacer uso de procedimientos estacionarios.

Otros motivos que han obligado a la legislación española a determinar unos procedimientos de simulación energética de edificios e instalaciones son que a partir de un procedimiento estacionario solo se consigue una aproximación al valor del consumo real. Para conseguir unos resultados más precisos en lo que a consumo real se refiere es necesario tener en cuenta que las condiciones ambientales varían con el tiempo, y por ello, el rendimiento y la potencia útil de los equipos irán a la vez variando con estos cambios temporales, por lo que hay que entender la simulación como un estudio que siempre va a estar comprendido en un período de tiempo determinado.

2.2.2 Programas de simulación térmica de edificios

En EE.UU.: Programas como el DOE2 (de EE.UU.) surgieron como resultado de la inversión lenta pero constante de la administración americana desde 1970. De la misma época es el BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) que fue encargado al NIST (EE.UU.). Muchos de ellos se empezaron a programar con lenguaje como el FORTRAN, que han evolucionado hacia un lenguaje más similar a C++ o JAVA y están orientados a objetos. Otros programas como el TRNSYS (Transient Simulation of Systems) de la Universidad de Wisconsin-Madison (EE.UU.) tuvieron y tienen un ámbito de existencia universitario y no estaban orientados inicialmente hacia la productividad o la industria por su origen universitario, aunque recientemente se han creado aplicaciones para generar los modelos-D con mayor facilidad y productividad (SimCAD). Lo mejor de DOE2 y BLAST se unió en un nuevo programa llamado Energy-Plus. [2]

Actualmente en Europa no hay ninguna organización centralizada que desarrolle ningún software de este estilo. Aun así, si existen algunos programas a nivel comercial, con código abierto que han sido desarrollados por algún estado miembro. Algunos ejemplos serían: Dinamarca (BSIM del Instituto Danés para la investigación en edificios), Inglaterra ESP-r de la universidad de Strathclyde, en Glasgow, cuyo código es abierto, o Suecia IDA-ICE es un programa comercial con un motor de simulación común y módulos con diversas aplicaciones (para el caso de edificios dicho módulo es el ICE-Indoor Climate and Energy). Existen también empresas que producen programas comerciales para la introducción del modelo-D de forma cómoda en programas americanos de código abierto. Por ejemplo el IISIBAT, del instituto para la edificación francés CSTB que utiliza como núcleo de cálculo el TRNSYS, o el “Design Builder” en Inglaterra, que ayuda a generar el fichero idf que usa el EnergyPlus americano. [2]

2.2.3 Simulación térmica a través de los modelos matemáticos

La simulación con ordenador está evolucionando constantemente. Existen también ciertas limitaciones, ya que los métodos matemáticos en los que se basan provienen de cuando no existían tales herramientas. Una simulación no es más que el uso de un ordenador para predecir el comportamiento de un objeto físico de manera cronológica. La cronología tradicionalmente se obtenía con un tiempo de muestreo fijo determinado. En la literatura anglosajona se llama “discrete time simulation”, simulación en tiempo discreto. Aunque actualmente es la técnica más extendida de trabajo

entre los programas de simulación, aparece una nueva tendencia hacia lo que se conoce como la simulación por eventos discretos o “discrete event simulations” (DEVS). Esta forma de simulación es más completa, ya que engloba a la anterior como si de un caso particular se tratase.

Los programas de simulación se organizan en tres pasos, los cuales son:

- Pretratamiento: Consiste en representar a través de un modelo-D (definición) un objeto al que se le va a realizar la simulación. El uso de programas de CAD están muy extendidos ya que ayudan a una generación sencilla del modelo. Aun así, esta etapa precisa de ciertos conocimientos previos, por lo que puede ser costosa en lo que a tiempo se refiere.
- Simulación: Consiste en generar un modelo-S (simulación) informático y/o matemático que simule el comportamiento del edificio. A partir del modelo-D anterior posee la información específica necesaria. Se puede llevar un registro de la información estadística deseada y con la cadencia requerida, ya sea horaria, diaria, mensual, anual.
- Postratamiento: Consiste en la representación de los resultados. Se puede dar la situación de que en función de las capacidades de la simulación, el modelo-D carezca de parte de la información original presente en el modelo real, pero a su vez, puede ocurrir que el modelo-S no utilice toda la información presente en el modelo-D.

2.2.4 Formación del modelo-D geométrico

La relación entre física y geometría cada día es más estrecha. Esto produce que se esté sufriendo un interesante cambio en la formulación discreta de las ecuaciones físicas que se usan en el cálculo por ordenador.

Los objetos físicos están relacionados con magnitudes intensivas (por metro, por metro cuadrado, etc.), y los objetos geométricos miden cantidades de geometría de un cierto tipo y con una cierta orientación. Los objetos físicos actúan sobre los geométricos en un determinado lugar del espacio al cual están asignados.

Los modelos matemáticos llevan el proceso al límite y disecionan la realidad en partes ínfimas. Contrariamente, los modelos de ordenador trabajan con modelos discretos. De esta manera se evita que aumente el tiempo de cálculo y la necesidad de la memoria.

Con el objetivo de mantener las condiciones de confort preestablecidas a un edificio, un programa de simulación térmica de edificios trata de estimar las aportaciones de masa y energía a un cierto volumen elemental. El control del ambiente interno de un sistema habitual parte de las condiciones de temperatura y humedad, por ello, al volumen elemental se le asocia una masa de aire húmedo como entidad física.

Es necesario definir las superficies geométricas que conforman los límites o fronteras de dicho volumen. Para ello se utiliza las superficies de los cerramientos, ya sean transparentes u opacos, de un local o un conjunto de ellos.

El valor de la magnitud radiante sobre las superficies también habrá que conocer siempre que queramos evaluar las condiciones de confort de los ocupantes a través de unos sistemas que traten de controlar estas condiciones además de las de temperatura y humedad.

A los elementos geométricos como pueden ser un volumen o una superficie, se le asignan objetos físicos como un flujo de calor. Esto se hace para obtener cantidades absolutas de magnitudes físicas, como por ejemplo, la cantidad de calor (en J/s) que pasaría a un volumen a través de una superficie.

Este es el modelo físico-matemático común para cualquier planteamiento. De este modo, el objeto físico será evaluado en cada muro real representado por dos superficies geométricas. El muro real estará simplificado, de modo que sea una superficie sin espesor, pero cuya definición requerirá de dos superficies, una a cada lado del muro. Por tanto, lo que se tiene en cuenta en la representación del

modelo-D son las relaciones de pertenencia y vecindad de cada objeto real con respecto a cada elemento de volumen o espacio geométrico. Así, un muro se contempla en un determinado espacio y es adyacente de otro. Sin embargo, si se ha de tener en cuenta cantidades y condiciones asociadas al volumen del espacio como son los equipos internos o la energía liberada por los ocupantes. [2]

2.2.5 Formación del modelo-D físico

Los objetos físicos varían en el espacio y en el tiempo. Hay que evaluar cómo actúan sobre los objetos geométricos y la relación existente entre ambos.

Un modelo físico se dice que es lineal, como la transmisión de calor por conducción en un muro, cuando la suma de dos soluciones es otra solución o cuando un múltiplo de una solución también es otra solución. Por ejemplo, la densidad de flujo de calor en un lado del muro se puede obtener como superposición, o suma, de la densidad de flujo debida a cambios de temperatura en ese lado más otro flujo de calor en ese mismo lado pero debido a cambios de temperatura en el otro lado. Cada temperatura en este caso representa la excitación y cada densidad de flujo de calor la respuesta. [2]

Cuando actúa una temperatura en un muro, se producen densidades de flujo en los demás. Entonces, sería necesario llevar un control de todas las funciones de transferencia a modo de excitación-respuesta, lo cual sería muy trabajoso. Por suerte, solo son relevantes las funciones de transferencia de un lado a otro del muro, por lo que las otras se desprecian, reduciéndose cuantiosamente el número de funciones de transferencia a evaluar. El resto de fuentes de excitación que tratan de variar la temperatura del aire en el interior del edificio deben de ser también contempladas.

A la hora de llevar a cabo dicha evaluación es necesario tener presente que existe la posibilidad de que en las superficies a evaluar se produzca una cierta acumulación de energía. Este caso se da en cerramientos como muros o forjados, incluso en el mobiliario, no así en acristalamientos, donde el flujo de calor es igual a ambos lados del cristal.

En definitiva, de lo que trata la simulación es de hacer balances de energía. No se indica la forma y posición exacta del entorno que delimita el volumen, únicamente lo que sale a través de las superficies vecinas a un volumen al que delimitan. De este modo, se tiene en cuenta únicamente las relaciones de vecindad entre superficies.

La ley de balance de energía la describen los expertos como una ley topológica. En las relaciones de vecindad se puede utilizar una “topología fuerte” o bien una “topología débil”. Dependiendo de lo que se quiera conocer del edificio, por ejemplo, si lo que queremos es conocer el consumo anual de energía, usaremos una “topología fuerte” ya que así la energía pasará de un volumen a otro volumen vecino, pero no se perderá al exterior, reduciéndose así las demandas globales del edificio.

Si por el contrario lo que se pretende es conocer la potencia máxima, ya sea de calor o frío, habrá que saber a qué ritmo se pierde calor del volumen a los volúmenes vecinos, pero no importará hacia dónde va dicha energía. En este caso, la topología puede ser más “débil”.

El problema pasa a ser “geométrico” y deja de ser “topológico” cuando se produce intercambio de energía, en este caso calor, por medio de la radiación. Para este intercambio de energía influyen el tamaño, la forma, la posición y la distancia entre ambas superficies.

2.3 Conceptos básicos

La transmitancia térmica (U) es, en un sistema constructivo, la medida de calor que fluye por unidad de tiempo y superficie. Un sistema constructivo estará formado por caras plano paralelas con una o más capas, a través de las cuales pasará calor cuando exista un gradiente térmico de 1° C de temperatura entre los dos ambientes que separa. Se mide en W/m²K o bien en W/m²°C. [4]

La capacidad de transmitir calor de un elemento constructivo viene delimitado por su resistencia térmica. Cuanto menor sea el valor de la transmitancia, menor será el paso de energía entre las caras de dicho elemento o sistema constructivo. Cuando esto sea así quiere decir que las capacidades aislantes del elemento constructivo son altas.

Matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$U = \frac{1}{R_t} = \frac{1}{R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se}}$$

Fórmula 2-1 Transmitancia térmica

Dónde:

- R_T : resistencia térmica total (m²·K·W⁻¹)
- R_{sii} : resistencia térmica superficial interior (m²·K·W⁻¹)
- R_j : resistencia térmica de cada una de las capas que forman el elemento (m²·K·W⁻¹)
- R_{se} : resistencia térmica superficial exterior (m²·K·W⁻¹)

La resistencia térmica de una determinada capa viene definida como:

$$R_j = \frac{e_j}{\lambda_j}$$

Fórmula 2-2 Resistencia térmica.

Dónde:

- e_j : espesor de la capa j (m)
- λ_j : conductividad térmica del material de la capa j (W/Km)

Su uso está muy extendido en el ámbito de la construcción a la hora de realizar el cálculo de las ganancias en verano y las pérdidas en invierno, de la energía calorífica. La potencia de los sistemas de calefacción deberá compensar las pérdidas de calor a través de los distintos elementos constructivos que separarán los espacios calefactados del exterior.

La energía que se acumula en un muro es:

$$Q = \rho * cp * V * \left(\frac{T1 + T2}{2} * T2 \right) = \rho * cp * A * L * \left(\frac{T1 * T2}{2} \right)$$

Fórmula 2-3 Fórmula energía acumulada en un muro.

Dónde:

- ρ : densidad (kg/m³)
- cp : capacidad calorífica (J/kgK)
- V : volumen (m³)
- A : área del muro (m²)
- L : espesor del muro (m)
- Q : energía (J)

$$\frac{Q}{A} = \rho * cp * L * \left(\frac{T1 * T2}{2} \right) = C * \left(\frac{T1 * T2}{2} \right)$$

Fórmula 2-4 Fórmula de energía por unidad de superficie de un muro.

Dónde:

- C : capacidad de almacenamiento de energía por unidad de superficie de muro (J/m² K)

La relación entre la capacidad de transmitir y la capacidad de almacenar el calor es:

$$\frac{1}{U} * C = RC = \frac{L}{k} * \rho * cp * L = \frac{L^3}{k / \rho * cp} = \frac{L^3}{\alpha} [s]$$

Fórmula 2-5 Fórmula relación capacidad transmisión y almacenaje del calor.

Dónde:

- α : difusividad térmica (m² /s)

La difusividad se refiere a la rapidez por la que en un sólido se propaga un cambio de temperatura. En lo que acumulación y transmisión de energía se refiere, R y RC tienen un papel determinante. RC representa el tiempo que tarda un muro en saber que se ha producido una variación de temperatura en el exterior, por lo tanto el tiempo de respuesta del muro será mayor cuanto mayor sea el parámetro RC . [4]

Las condiciones medias a ambos lados del muro serán las que determinen la energía que fluye a través de dicho muro.

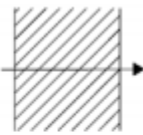
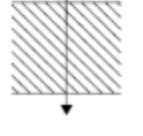
Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor		R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal		0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)		0,04	0,10
Cerramientos horizontales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

Figura 2-1 Posición del cerramiento y sentido flujo calor [4]

2.4 Confort Térmico

Podríamos decir que existe «confort térmico» cuando las personas no experimentan sensación de calor ni de frío; es decir, cuando las condiciones de temperatura, humedad y movimientos del aire son favorables a la actividad que desarrollan. Detallamos a continuación los factores que afectan y las medidas preventivas necesarias. [5]



Figura 2-2 Confort térmico [6]

2.4.1 Factores que afectan al confort térmico

Es complicado llevar a cabo una evaluación correcta del confort ya que es un tema subjetivo al depender de manera directa de las sensaciones de los individuos. De todas formas, existen una serie de factores cuyo control permiten conocer el impacto que producen en tales sensaciones, estos son:

1. **El aire:** su humedad relativa, su velocidad y su temperatura. La humedad es el contenido de vapor de agua que tiene el aire. Cuanta más humedad haya, menor será la transpiración; por eso es más agradable un calor seco que un calor húmedo. La velocidad del aire interviene de forma directa en el balance térmico y en la sensación térmica, ya que, según sea la velocidad, variará la capa de aire que nos aísla y aumentará la evaporación del sudor. Un individuo cuando se encuentra rodeado por aire seco a una temperatura determinada, sufre un intercambio de temperatura al existir una diferencia de temperatura entre el aire y la piel del individuo, a este intercambio se le denomina «intercambio de calor por convección». La interacción entre unas determinadas superficies también produce intercambio de calor (piel, máquinas, cristales, paredes, techos, etc.), esto produce que, por ejemplo, que pueda ser agradable estar en un local cuyas paredes radian calor a 22°C mientras que la temperatura interior es de 15°C, ya que, si la temperatura del individuo es mayor que la que radia el ambiente, será el cuerpo del individuo el que radie calor al ambiente.
2. **El factor humano:** la ropa que llevamos puesta, las actividades que realizamos y el tiempo que permanecemos en la zona. El confort y la sensación que podamos tener de éste está influido por la ropa que llevemos puesta. Dependiendo de las prendas existirá una mayor resistencia térmica, y cuanto mayor sea tal resistencia más difícil será para el organismo del individuo desprenderse del calor que genera y transferirlo al ambiente. Cuando se consiga un cierto equilibrio entre el calor que genera un individuo y el que puede ceder al ambiente podremos decir que se consigue cierto confort térmico. Además, cuando un individuo realiza una determinada actividad su cuerpo tiende a generar calor y, dependiendo de cuál sea dicha actividad la cantidad de calor será mayor o menor. Menos de un 10% de la energía consumida se transforma en trabajo útil, el resto se transforma en calor por parte de nuestro cuerpo, por lo que habrá que ceder parte de este calor al exterior para evitar que el cuerpo alcance temperaturas demasiado elevadas que puedan llegar a ser peligrosas.
3. **El espacio:** la temperatura radiante del local y la temperatura ambiental. El artículo 7 y el Anexo III del Real Decreto 486/1997 sobre disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo establecen las condiciones mínimas ambientales que deben reunir los lugares de trabajo. Como principio general se establece que el ambiente de trabajo no debe suponer un riesgo para la seguridad y la salud de los trabajadores y, en la medida de lo posible, se debe evitar que constituya una fuente de incomodidad o molestia. El Anexo III del citado Real Decreto establece que en los locales de trabajo cerrados deberán cumplirse las siguientes condiciones: Temperatura: entre 17° C y 27° C, si se realizan trabajos sedentarios o entre 14° C y 25 ° C, si son trabajos ligeros. Humedad relativa: entre 30% y 70%, excepto si hay riesgo por electricidad estática, en cuyo caso, el límite inferior será el 50%. Velocidad del aire: inferior a 0,25m/s en ambientes no calurosos; inferior a 0,5 m/s en trabajos sedentarios en ambiente caluroso e inferior a 0,75m/s en trabajos no sedentarios en ambientes calurosos. Para los sistemas de aire acondicionado, los límites son 0,25 m/s en trabajos sedentarios y de 0,35 m/s, en los demás casos. [5]

2.4.2 Medidas Preventivas

Para crear un clima confortable en el interior de un local para la mayoría de sus ocupantes, será necesaria la instalación de un adecuado sistema de climatización del aire, para así poder calentar el aire durante los meses de invierno y enfriarlo durante los meses de verano. Los ocupantes de un local deberán estar concienciados y ser conocedores de cuáles son las mejores maneras de trabajar en cuestión de las temperaturas del local así como la ropa que sería más adecuada para cada situación.

De tal manera, se debe informar a los ocupantes cuales son los medios que existen para detectar si alguna actividad no se realiza adecuadamente, y como así detectar síntomas y signos que se presentan al trabajar en condiciones de temperatura y humedad inadecuadas. Por ejemplo, para un foco de calor radiante, como podrían ser motores u hornos, realizar un apantallamiento de ese foco reduciría el calor que radia. Si el calor es generalizado en el ambiente, dotar al local de una ventilación general para disminuir la temperatura del aire. Dicha ventilación podría ser de carácter natural, abriendo una ventana por ejemplo, o de artificial, como puede ser el uso de ventiladores o extractores. En situaciones donde en el local se genere vapor de agua por medio de la realización de alguna actividad física, se podrá instalar un extractor de aire, con el fin de evitar que aumente la humedad del aire. Si por el contrario lo que queremos es calentar el aire, se podrán utilizar chorros de aire, aparatos de calefacción o placas de contacto calientes.

2.5 Cargas Térmicas

Se entiende por carga térmica la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo, es decir, potencia térmica, que debido a las diversas condiciones higrotérmicas del interior de un recinto cerrado y del exterior, son intercambiados entre interior y exterior. [7]

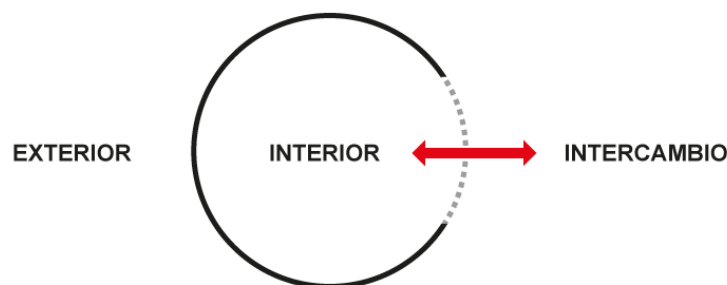


Figura 2-3 Intercambio de calor [8]

Los elementos principales que van a determinar los intercambios de calor del edificio, así como las ganancias interiores de calor son los siguientes:

- La transmisión de calor desde una zona de mayor temperatura hacia otra de menor. Los propios elementos constructivos del edificio que separan los locales interiores del exterior y los interiores entre sí van a determinar el salto térmico. El aislamiento térmico, que viene expresado en transmitancia térmica (U), dependen de las características térmicas de cada elemento como bien pueden ser muros, ventanas, tejados, huecos, etc. La exposición de estos elementos a los agentes externos como podría ser por ejemplo la exposición, producirían un aumento de calor en la superficie de tales elementos, en el caso de esto supuesto. En ocasiones, en algunos elementos como pueden ser las ventanas o las puertas,

se produce una interrupción del aislamiento térmico, este concepto se conoce comúnmente como puente térmico, que no es más que una zona en la que la transmisión de una zona a otra ocurre con mayor facilidad.

- La ventilación del aire del interior del local mediante el uso de aire exterior. El uso del aire exterior a la hora de renovar el existente en el interior deberá hacerse con un determinado control, ya que esa introducción de aire exterior podría llegar a modificar la propia temperatura interna del edificio, impidiendo que se consiga la deseada en el interior. En este caso, también ser de especial relevancia el caudal de aire que apliquemos a la hora de intercambiar dichos volúmenes de aire. Las características constructivas del edificio afectarán en la medida en que, se deberá tener en cuenta las infiltraciones involuntarias de aire exterior al interior, ya sea a partir de rendijas, juntas de cierre, ventanas o puertas.
- Aumento de calor debido a la radiación solar a través de ventanas. Cuando un rayo solar atraviesa una superficie acristalada como es una ventana se produce el conocido efecto invernadero, ya que el cristal permite que el rayo solar pase al interior del local pero atrapa la energía de esa radiación en su interior, lo que conlleva un aumento de la temperatura del interior del local así como la de los objetos que allí se encuentran. Los objetos en el interior emiten una radiación infrarroja, y ciertas longitudes de onda de los rayos infrarrojos, el vidrio se comporta de forma opaca, por lo que impide que dichos rayos infrarrojos puedan salir del interior de nuevo al exterior. Este efecto, en resumen, aumenta la temperatura interior del local, por lo tanto, a lo largo de un año natural, tendrá dos efectos diferenciados, ya que durante el invierno será un efecto beneficioso al permitir aumentar la temperatura de manera natural, mientras que por el contrario, durante los meses de verano será desfavorable ya que en la mayoría de los casos conllevará la necesidad de reducir la temperatura interior de manera artificial.
- La ocupación de los espacios interiores por medio de personas. A medida que en un local aumenta el número de ocupantes la temperatura en su interior tiende inmediatamente a crecer debido al calor que dichos ocupantes desprenden. Además, dependiendo de la actividad que estas personas estén llevando a cabo en ese lugar, producirán más o menos vatios de carga térmica.
- La iluminación artificial producida por aparatos eléctricos. Los aparatos eléctricos que produzcan luz de manera artificial, ya estén colocados en el techo de forma permanente o sean lámparas de mesa, producirán una radiación similar a la producida por los rayos solares, por lo que su uso aumentará la temperatura del interior del local a medida que este aumente. Al igual que ocurría con los rayos solares, este efecto puede tener un efecto positivo y favorable durante los meses de invierno, pero durante el verano puede producir un aumento innecesario de la temperatura interior del local.
- El uso de elementos de ofimática que generan cargas térmicas. El uso de aparatos electrónicos, eléctricos como pueden ser ordenadores, impresoras o fotocopadoras generan un aumento de la temperatura en el interior ya que su uso continuado produce que estos aparatos alcancen en ocasiones altas temperaturas, llegando incluso a necesitar de

una ventilación externa para evitar que estos aparatos pueden seguir funcionando correctamente e incluso que no lleguen a estropearse.

- La humedad del aire que se encuentra en el interior del local. El tratamiento de la humedad para conseguir unos niveles de humedad relativa, que depende de la cantidad de vapor de agua que se encuentra en el aire de forma porcentual. Este vapor puede proceder de diversas fuentes, ya sean internas, como pueden ser personas o incluso ciertos aparatos eléctricos, así como fuentes externas, que depende de la cantidad de humedad del aire exterior. La humedad relativa aumenta a medida que enfriamos una masa de aire que posee una cantidad determinada de vapor de agua, por lo que será necesario a la hora de refrigerar, eliminar parte de ese vapor de agua existente en el aire que se quiere enfriar para mantener así la humedad relativa dentro de los límites adecuados. Por el contrario, cuando se produce un calentamiento o calefacción de la masa de aire en cuestión se produce una disminución de la cantidad de vapor de agua que este contiene, pero en este caso, es posible que los niveles de vapor de agua se mantengan estables simplemente con el vapor producido por los ocupantes a través de la transpiración, aunque de no ser así, sería necesario compensar ese descenso.

2.6 Cerramientos y envolvente térmica

En construcción un cerramiento es aquello que permite cerrar o terminar un edificio. Los cerramientos conforman la envolvente térmica de un edificio, y delimitan el interior del mismo del exterior. También forman parte de los cerramientos aquellas particiones interiores que delimitan en el interior del propio edificio las diferentes zonas. [9]

Se puede decir que la envolvente térmica actúa como una membrana de protección y que provee al edificio de un control térmico con el exterior. Dependiendo su situación, la envolvente térmica se diferencia en una serie de elementos como son los suelos, fachadas y cubiertas.

Los suelos son aquellos cerramientos que se encuentran en posición horizontal y que pueden estar en contacto con el terreno o bien con el aire o un espacio no habitable. Las fachadas son aquellos cerramientos que dan al exterior y que, a su vez, se podrán dividir en cerramientos opacos como por ejemplo los muros, o cerramientos transparentes, como ventanas. Las cubiertas son cerramientos que también pueden ser de carácter horizontal o pueden poseer una cierta inclinación, la cual no debe superar nunca los 60°, estos cerramientos suelen situarse en la parte superior de los edificios.

Dentro de la envolvente también ha de tenerse en cuenta todas aquellas zonas en las que el edificio se relaciona con el exterior, obteniendo así tanto iluminación como ventilación, estas zonas se denominan huecos. Los huecos tienen especial relevancia ya que a la hora de realizar los cálculos de la eficiencia energética de un cerramiento, puede disminuir el valor y la capacidad que tiene dicho cerramiento de aislar el interior del edificio del exterior.

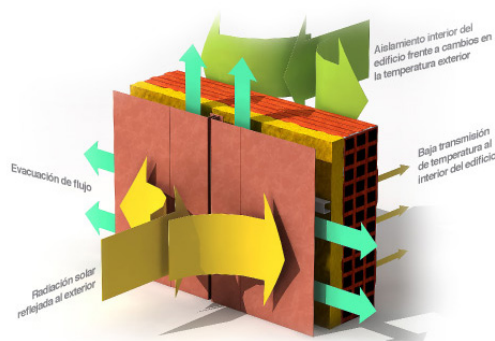


Figura 2-4 Flujo de calor en cerramientos [10]

2.7 Gestión de la demanda energética

En simulación se conoce como demanda a que exista un equipo o sistema que compense el exceso o defecto de energía que llega al aire. Cuando se aporta energía (calefacción) o cuando se quita (refrigeración), se produce un coste al actuar dicho sistema o equipo. Si no funcionase el equipo, la temperatura del edificio subirá o bajará en función de las condiciones exteriores. [2]

Si el edificio es ligero en cuanto a cerramientos se refiere, la temperatura interna variará de manera fluctuante pero debido a las ganancias producidas por la actividad que se realice en su interior y a la energía radiada por el Sol, su valor medio de temperatura se mantendrá por encima del valor medio de la temperatura exterior. Durante la noche, los aportes energéticos no actuarán por lo que la temperatura interior del edificio caerá incluso llegando a valores menores que la temperatura exterior. Cuanto mayor sea el edificio y su masa, en menor medida se verá afectado por todos estos aspectos, y las variaciones entre noche y día se reducirán.

Por tanto, el orden de las capas de un muro afecta a la capacidad que tiene dicho muro de almacenar la energía o de dejarla pasar.

Por último, el parámetro RC en el caso de muros multicapa no es tan sencillo de definir debido a que el orden de las capas afecta a la capacidad del muro de almacenar (no así su resistencia térmica R). Por ejemplo, no es lo mismo aislar por dentro o por fuera un muro exterior. En el primer caso los aportes de energía internos pasan rápidamente al aire, mientras que en el segundo la energía pasa a los muros.

2.8 Sistemas de climatización

La finalidad de los sistemas de climatización no es otra que la de producir un ambiente confortable. El control de los diferentes parámetros que lo condicionan será la prioridad de los diferentes sistemas de clasificación existentes. Dependiendo del fluido encargado de compensar la carga térmica existente en el local podremos diferenciar entre:

- Sistemas aire-agua
- Sistemas todo aire
- Sistemas todo agua
- Sistemas todo refrigerante

Además, debemos diferenciar entre la climatización que se lleva cabo de manera centralizada, en la cual, por medio de conductos y emisores se puede climatizar una serie de locales con la energía térmica que produce una instalación; y unitaria, en la que un único local se climatiza por medio de la energía térmica que una instalación produce.

2.8.1 Sistemas Aire-Agua

Por medio de un climatizador y con la ayuda de aparatos terminales que se encuentran en los diferentes locales, como puede ser un inductor, se distribuye el aire necesario para la ventilación. Los aparatos terminales son necesarios a la hora de proveer a las diferentes zonas el caudal de aire que transporta la energía térmica necesaria. Estos elementos terminales extraen el calor o el frío del agua tratada por la bomba de calor y lo pasan al aire del local.

Es el sistema más caro, pero por la gran cantidad de ventajas que posee, como el hecho de la no recirculación de aire, su alta flexibilidad en cuanto a modificaciones y en cuanto a diseño, hacen que sea muy rentable su utilización.

También tiene una serie de desventajas como son su alto consumo y que requiere un mantenimiento muy exhaustivo debido a que tiene muchos puntos donde poder averiarse.

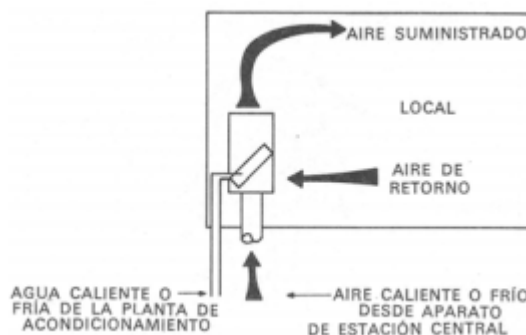


Figura 2-5 Sistema Aire-Agua [11]

2.8.2 Sistemas todo Aire

Los sistemas todo aire o aire-aire, emplean un caudal de aire frío o caliente para poder así conseguir las condiciones deseadas. Estos sistemas envían el aire al local a climatizar, donde irá adquiriendo la adecuada temperatura, a través de elementos de difusión como bien pueden ser difusores o rejillas.

Además utilizan unidades centralizadas como climatizadores, que en algunos casos pueden precisar de unidades enfriadoras como bombas de calor. Dependiendo de cómo se lleve el control de la temperatura, se diferencian en diferentes instalaciones que pueden ser instalaciones de un único conducto y con volumen de aire constante, que a su vez puede ser para una zona o para varias zonas;

instalaciones de un solo conducto con volumen de aire variable; e instalaciones de doble conducto, ya sean de volumen de aire constante o variable.

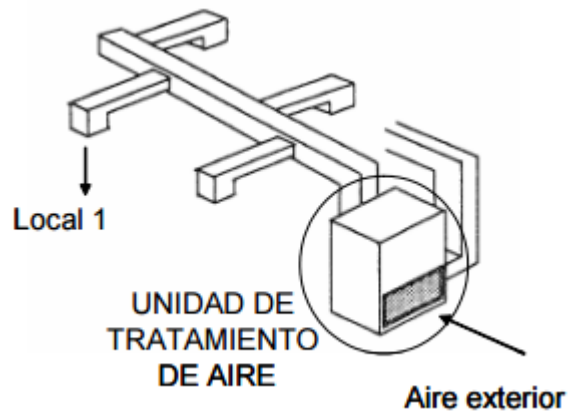


Figura 2-6 Sistema todo Aire [11]

2.8.3 Sistemas todo Agua

En los sistemas todo agua, el agua se calienta o se enfría a través de unidades centralizadas, para pasar posteriormente a elementos terminales como radiadores, fan-coils, etc., que se encuentran situados en los locales a climatizar.

Estos sistemas se pueden dividir en sistemas de tubería simple o de dos tuberías, y sistemas de varias tuberías. En los sistemas de tubería simple, el funcionamiento es sencillo, consiste en que los elementos terminales reciben el agua tratada, ya sea fría o caliente, por una tubería y es devuelta al climatizador por medio de una tubería de retorno. Mientras, en los sistemas de varias tuberías, las unidades terminales poseen dos tuberías de entrada, una de agua caliente y otra de agua fría, y luego pueden tener una o dos tuberías de retorno al climatizador.

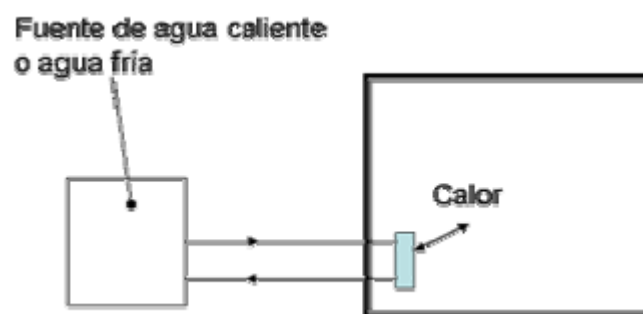


Figura 2-7 Sistema todo Agua [11]

2.8.4 Sistemas todo Refrigerante

Estos sistemas únicamente se emplean en instalaciones de mediana o pequeña potencia. El refrigerante con frío o calor se transporta a los locales a climatizar por media de tuberías. El fluido refrigerante es utilizado como elemento de tratamiento en dichos locales. Dentro de los propios locales

se dispone de un climatizador de expansión directa, que funciona como evaporador o como condensador del fluido refrigerante.

Se clasifican en dos tipos: sistemas partidos unitarios o split, y sistemas partidos múltiples o multi-split. Los primeros son unidades interiores, que sirven a un único local, mientras que en los segundos una sola unidad condensadora exterior sirve a varias unidades interiores en paralelo, con un control común o independiente.

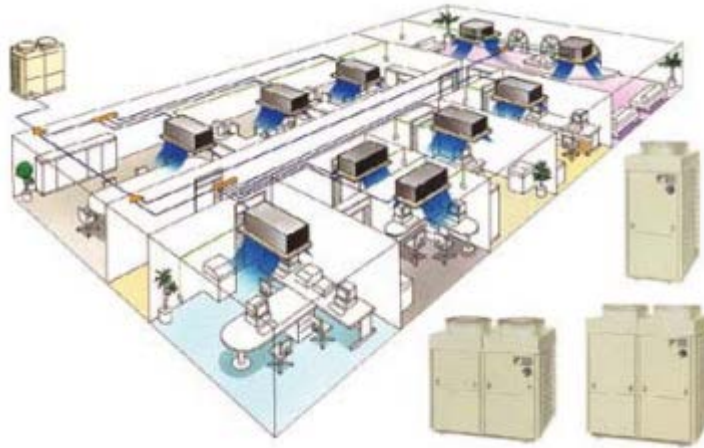


Figura 2-8 Sistema todo Refrigerante [11]

3 ELEMENTOS DEL TFG

3.1 Descripción del edificio

3.1.1 Situación y uso

El edificio en el que se va realizar la simulación térmica en el presente proyecto es en el que actualmente se encuentra emplazado el Centro Universitario de la Defensa dentro de la Escuela Naval Militar, Marín, Pontevedra (situación Latitud: 42° 37'13" N / Longitud: 008° 69'56" W). Dicho edificio forma parte del conjunto que conforman el conocido "Patio de Aulas" de esta Escuela.

Este edificio sufrió en el año 2010 una importante obra de remodelación para poder así adaptarlo a la función que tiene hoy día. Las obras fueron únicamente realizadas en el interior del edificio para su acondicionamiento. Con las obras se adaptaron las plantas a las exigencias de la normativa actual en cuanto a aislamiento y eficiencia energética, seguridad de incendios y de utilización.

Se trata de un edificio que se divide en dos plantas principales en las que se organizan los despachos y seminarios a ambos lados de un pasillo central. En la planta primera se sitúa la zona de dirección y administración del centro así como, los despachos de la mayor parte de los profesores. En cambio, en la planta baja se encuentran principalmente los seminarios de los departamentos aunque también se encuentran emplazados varios despachos de profesores

La función de los seminarios de la planta baja es la de acoger las diferentes clases y seminarios de los alumnos de la Escuela Naval. Cada una de las clases tienen un tamaño por el cual el número de alumnos óptimos que podrían acoger no debería ser nunca más de diez (10) o doce (12). En esta misma planta en la zona oeste se encuentran una serie de despachos pertenecientes a profesores del Centro Universitario de la Defensa así como una sala reservada para uso específico docente.

La primera planta o planta superior está reservada para acoger los despachos del resto de claustro de profesores así como la dirección del propio Centro. Por cada despacho se distribuyen tres profesores, mientras que los despachos de secretaría y dirección son individuales. Además, existen una sala de juntas y otra de reuniones que no están ocupadas salvo en ciertas ocasiones, así como una secretaría en la que trabajan cinco personas.



Figura 3-1 Vista aérea Escuela Naval Militar [11]



Figura 3-2 Vista aérea edificio CUD [12]

3.1.2 Características técnicas

Para el presente proyecto las características técnicas que se han tenido en cuenta para el posterior cálculo de los diferentes parámetros han sido la envolvente exterior así como la compartimentación interior que posee el edificio, ya que serán los principales determinantes de la climatización y por tanto los primeros en tener en cuenta.

El edificio posee dos plantas, una planta baja de 5,45 m de altura libre y otra planta superior de 4,52 m de altura libre. La longitud del edificio es de 50 m de Este a Oeste, mientras que de ancho planta baja y superior se diferencian en que la planta superior posee una anchura de 15,5 m mientras que la planta baja dispone de un porche que da hacia el patio de aulas en su cara Sur que es de 3,5 m de ancho, por lo que la anchura de la planta baja se ve reducida a 12 metros.



Figura 3-3 Vista fachada norte edificio CUD

La planta baja tiene 664 m^2 de superficie construida, de los cuales son útiles un total de $531,3 \text{ m}^2$, mientras que la planta superior tiene $769,4 \text{ m}^2$, con $685,7 \text{ m}^2$ útiles. Esto hace una superficie total construida de $1.433,4 \text{ m}^2$, de la que útiles son $1.194,6 \text{ m}^2$. Cada seminario de la planta baja tiene $28,2 \text{ m}^2$, mientras que los despachos de profesores de la planta superior tienen una superficie que varía y no es igual para todos ellos pero de media es alrededor de $24,5 \text{ m}^2$.

La fachada del edificio es de ladrillo hueco, siendo el espesor en la planta baja de 60 cm y de 40 cm en la planta superior, además están enfoscadas y pintadas en el exterior y guarnecidas con yeso en el interior.

La compartimentación realizada en el interior del edificio entre despachos y seminarios es generalmente de yeso cartón y con una estructura de acero galvanizado y relleno interior de fibra mineral, a lo que hay que sumarle dos hojas de panel de yeso cartón de 15 mm por cada cara, constituyendo por tanto una pared con un espesor final de 13 cm. Los revestimientos de todos los despachos son de pintura plástica lisa sobre el panel de yeso cartón.

El falso techo está compuesto por bandejas metálicas de aluminio perforado en blanco con fieltro acústico de 60x60 cm, además posee una moldura perimetral de pladur lisa en todos los locales de la planta baja y superior.

Las ventanas de todas las paredes exteriores son de vidrio doble aislante 4-6-4 mm y los marcos o carpintería exterior son de aluminio lacado en color verde. Las ventanas de las plantas superiores, tanto Norte como Sur, son iguales con unas dimensiones de 2 m de alto por 2,4 m de ancho. Las ventanas de la cara Norte de la planta baja tienen 3 m de alto por 2,3 m de ancho, mientras que las de la cara Sur Baja son un poco diferentes al resto ya que tienen 2,3 m de ancho y 1,85 m de alto pero poseen forma de arco en su parte superior, cuyo radio es de 1,2 m. En la siguiente tabla podemos ver las diferentes características de las ventanas de las que dispone el edificio:

Superficie	Área (m ²)	Transmitancia (W/m ² *K)	Coef. Convección (Kj/h*m ² *K)	
			Interior	Exterior
Cara Norte Baja	6,9	3,44	11	11
Cara Sur Baja	6,8	3,44	11	11
Cara Norte Superior	4,8	3,44	11	11
Cara Sur Superior	4,8	3,44	11	11

Tabla 3-1 Características ventanas del edificio

La climatización del edificio tanto en los meses de invierno y verano, la lleva a cabo un sistema de aire acondicionado formado por una bomba de calor aire-agua, una red de tuberías de agua enfriada o calentada a dos tubos y un sistema de fancoils de zona, los cuales se encuentran situados e instalados en el falso techo de las zonas a climatizar. La bomba de calor es compacta y se ha instalado a la intemperie en la terraza del edificio adyacente a la cara este del edificio. Dicha bomba dispone de un grupo hidráulico con bombas y un sistema de seguridad para impulsar el agua que ha sido tratada.

Los fancoils para la climatización de los locales se han instalado de tal manera que coincidan con cada uno de los ventanales del edificio para que así no afecten a la distribución de los nuevos tabiques que se instalaron en la obra de remodelación. Su impulsión se realiza mediante difusores circulares y el retorno a través de un plenum situado el falso techo. Cada fancoil posee una regulación independiente mediante un termostato situado en cada local con un conmutador verano-invierno.

El aire exterior de renovación se acondiciona a través de un climatizador que es específico para cada planta y que aporta un volumen de 1,5 renovaciones por hora a través de los diversos locales. Esta distribución se lleva a cabo a través de unos conductos aislados de fibra de vidrio que están dispuestos a lo largo de los pasillos en su falso techo, pasando el aire al falso techo de los diferentes locales para pasar posteriormente por el plenum de los diversos fancoils. Esta tasa de renovación del aire puede de todas maneras regularse a través de un variador continuo de velocidad del motor del climatizador.

La información de este apartado se obtuvo de Anexo I.

3.2 Elementos de climatización

3.2.1 Bomba de calor Aire-Agua

La bomba de calor que utiliza el edificio para la climatización del mismo es del tipo aire-agua. Se trata de una bomba de la empresa “AERMEC” y el modelo es el “NRL 0650 ‘H’ AR”. Los aparatos de la serie NRL son unidades utilizadas para la producción de agua fría. Los modelos de bomba de calor también permitirán producir agua caliente para la calefacción.



Figura 3-4 Bomba de calor del edificio

Está compuesto por dos circuitos de refrigeración “R410A” y un circuito hidráulico único, que puede o no, ser suministrado a través de lo almacenado o de la unidad de bombeo. La presencia de varios compresores que las enfriadoras “NRL” poseen, permiten que se pueda dividir la capacidad de refrigeración. La regulación electrónica con microprocesador controla y gestiona todos los componentes y el correcto funcionamiento de los diversos parámetros.

Una memoria interna registra las condiciones de funcionamiento, para que cuando se produzca una alarma, esta se muestre en la pantalla las unidades.

En enfriamiento, los modos de operación tienen un límite de temperatura externa del aire de 46° C y pueden producir agua a 18° C. Por otro lado, en calefacción, los modos de operación trabajarán con una temperatura del aire externa de 42° C y una producción de agua a 55° C. [13]

Las características de la bomba vienen descritas en la siguiente tabla:

Capacidad de enfriamiento	138 W
Poder de enfriamiento total	44,6 kW
Caudal de agua en enfriamiento	23740 l/h
Capacidad de calefacción	152 kW
Poder de calefacción total	44,9 kW
Caudal de agua en calefacción	26140 l/h
EER	2,89
ESEER	4,26
COP	3,39
Fuente de alimentación	400 V-3N-50 Hz
Capacidad almacenado tanque	500 l

Tabla 3-2 Características bomba de calor [13]

3.2.2 Fancoils

Están constituidos por un filtro, un ventilador y un intercambiador de calor. Su función es simple, calentar un local durante el invierno, y enfriarlo durante el verano. Si se alimentan con agua refrigerada procedente de un refrigerador sirven para refrescar el ambiente, proporcionando un aire seco y limpio en poquísimo tiempo y con una gran eficacia energética; cuando se alimentan con agua caliente procedente de una bomba de calor o de una caldera común proporcionan un calor limpio y económico durante el invierno. [14]

Los fancoil que posee el edificio pertenecen al igual que la bomba, a la empresa “AERMEC”. El modelo es el “FCX”, y dentro de dicho modelo se diferencian tres tipos que se distribuyen a lo largo del edificio en diferentes zonas dependiendo de las distintas necesidades que estas requieran en lo que a climatización se refiere. Estos modelos son: “FCX-P 22”, “FCX-P 32” Y el “FCX-P 42”.

Las características de dichos fancoils vienen definidas en la siguiente tabla:

Datos técnicos

Mod.	FCX	17	22	24	32	34	36	42	44	50	54	56	62	64	82	84	102
Potencia térmica	W (máx.)	2490	3400	3950	4975	5850	6150	7400	8600	8620	10100	9650	12920	14300	15140	17100	17020
	W (med.)	2070	2700	3200	4085	4850	5050	6415	6930	7530	8760	8430	10940	11500	13350	14420	15240
	W (mín.)	1610	1915	2200	3380	3850	4180	5115	5200	5420	6240	6060	8330	8500	10770	11200	12560
Potencia térmica* (entrada agua 50 °C)	W (E)	1360	2100	2320	3160	3550	3800	4240	5250	4900	6100	5380	6460	7810	7990	10400	9670
Potencia térmica (resistencia eléctrica)	W	700	950	-	1300	-	1300	1650	-	1950	-	1950	2200	-	2200	-	2200
Caudal agua	l/h	214	292	340	427	503	529	636	740	741	869	830	1110	1230	1300	1471	1464
Pérdidas de carga agua	kPa	2,8	6,3	4	14,2	8	15	14,1	21	14,2	22	40	14,8	22	19,8	30	16,6
Potencia frigorífica total	W (máx.) (E)	1000	1500	1730	2210	2800	2800	3400	4450	4190	4970	4600	4860	6350	7420	8600	7620
	W (med.)	890	1330	1500	2055	2450	2600	2800	3780	3640	4770	3990	4660	5520	5500	7600	7140
	W (mín.)	720	1055	1150	1570	2050	1980	2310	2970	2840	3620	3110	3950	4500	4710	6270	6270
Potencia frigorífica sensible	W (máx.) (E)	830	1240	1380	1750	2130	2200	2760	3300	3000	3540	3550	3980	5030	5680	5780	5980
	W (med.)	710	1055	1140	1540	1789	1930	2115	2722	2750	3101	3250	3510	4195	4250	5016	4984
	W (mín.)	540	755	828	1100	1441	1380	1635	2079	2040	2281	2410	2825	3330	3450	4013	4263
Caudal agua	l/h	172	258	297	380	482	482	585	765	721	855	791	836	1092	1276	1479	1311
Pérdidas de carga agua	kPa (E)	2,6	5,8	3	16,6	9	28	14,3	19,2	19,3	25,9	38	11,6	13	13,5	22	19,2
	m³/h (máx.)	200	290	290	450	450	450	600	600	720	720	720	920	920	1140	1140	1300
	m³/h (med.)	160	220	220	350	350	350	460	460	600	600	600	720	720	930	930	1120
	m³/h (mín.)	110	140	140	260	260	260	330	330	400	400	400	520	520	700	700	900
Número de ventiladores	n.	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3
Presión sonora	dB (A) (máx.)	36,5	41,5	42,5	39,5	39,5	39,5	42,5	46,5	47,5	47,5	47,5	48,5	48,5	53,5	52,5	57,5
	dB (A) (med.)	29,5	34,5	37,5	32,5	32,5	32,5	35,5	41,5	42,5	44,5	42,5	42,5	42,5	48,5	48,5	52,5
	dB (A) (mín.)	22,5	22,5	26,5	25,5	27,5	25,5	28,5	32,5	33,5	35,5	33,5	33,5	35,5	41,5	42,5	47,5
Presión sonora FCX PO	dB (A) (máx.)	-	49,5	49,5	44	44	44	50	50	50,5	50,5	50,5	53,5	53,5	55,5	55,5	-
Potencia sonora FCX PO	dB (A) (máx.)	-	58	58	52,5	52,5	52,5	58,5	58,5	59	59	59	62	62	64	64	-
	dB (A) (máx.) (E)	45	50	51	48	48	48	51	55	56	56	56	57	57	62	61	66
Potencia sonora	dB (A) (med.) (E)	38	43	46	41	41	41	44	50	51	53	51	51	51	57	57	61
	dB (A) (mín.) (E)	31	31	35	34	36	34	37	41	42	44	42	42	44	50	51	56
Contenido agua	l	0,58	0,79	1	1,11	1,5	1,11	1,48	1,9	1,48	1,9	1,48	2,52	3,4	2,52	3,4	2,52
Potencia máx. motor (W)	FCX P (E)	35	25	33	44	44	44	57	57	67	67	67	82	91	106	106	131
	FCX PO	-	54	54	97	97	97	111	111	82	82	82	97	97	135	135	-
Corriente máx. absorbida (A)	FCX P	0,16	0,12	0,25	0,21	0,45	0,21	0,28	0,51	0,35	0,36	0,35	0,4	0,48	0,49	0,62	0,58
	FCX PO	-	0,25	0,25	0,45	0,45	0,45	0,51	0,51	0,36	0,36	0,36	0,48	0,48	0,62	0,62	-
Potencia máx. motor (W) con resistencia eléctrica	FCX P	735	975	-	1344	-	1344	1707	-	2017	-	2017	2282	-	2306	-	2331
	FCX PO	-	1004	-	1397	-	1397	1761	-	2032	-	2032	2297	-	2335	-	-
Corriente absorbida (A) con resistencia eléctrica	FCX P	3,2	4,25	-	5,86	-	5,86	7,45	-	8,83	-	8,83	9,97	-	10,06	-	10,15
	FCX PO	-	4,38	-	6	-	6	7,68	-	8,84	-	8,84	10,05	-	10,19	-	-
Conexiones batería	ø (4R)	-	-	3/4"	-	3/4"	-	-	3/4"	-	3/4"	-	-	3/4"	-	3/4"	-
	ø (3R)	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	3/4"	3/4"	-	3/4"	-	3/4"	3/4"	-	3/4"	-	3/4"
	ø (1R)	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	1/2"	1/2"	-	1/2"	-	1/2"

Figura 3-5 Tabla datos fancoils [14]



Figura 3-6 Ejemplo de fancoil [14]

En cada zona térmica los fancoils se distribuyen de la siguiente manera:

Tipo de Fancoil	FCX-P 22	FCX-P 32	FCX-P 42
NORTE BAJA	11	0	0
SUR BAJA	0	0	11
NORTE SUPERIOR	0	19	0
SUR SUPERIOR	0	0	20

Tabla 3-3 Distribución de los fancoil



Figura 3-7 Ejemplo plenum de un fancoil

3.3 Softwares empleados

3.3.1 Sketchup

Se trata de un programa de diseño gráfico y de modelado en tres dimensiones (3D) que está basado en caras. Es un programa de uso muy extendido entre diversos sectores como pueden ser la arquitectura, el diseño escénico, diferentes tipos de ingenierías o incluso el mundo de los videojuegos o las películas. [15]

Este software fue desarrollado por la empresa “@Last”, que posteriormente fue adquirida en 2006 por la empresa “Google”, para por último ser vendida por dicha empresa a la empresa “Trimble” en el año 2012.



Figura 3-8 Logo Sketchup [15]

El programa se presenta como una herramienta cuya principal característica es que permite la realización de diseños y modelados en 3D de manera relativamente sencilla. Ofrece multitud de tutoriales que pueden usarse como ayuda y como referencia para poder aprender paso a paso como modelar lo que queramos. Nos permite conceptualizar y diseñar diversas imágenes en 3D como edificios, coches e incluso cualquier tipo de objeto que podamos imaginar. Además, para ayudarnos a completar el diseño, el propio programa ofrece una galería de diseños de la que podemos extraer multitud de objetos ya modelados para incluirlos en nuestro diseño una vez descargados.

Una característica muy importante de “Sketchup” es que permite cambiar su funcionalidad a través de una serie de “plugins” que se pueden instalar con el programa. Uno de estos plugins es el del software conocido como “Trnsys” el cual permite diseñar el edificio diferenciando en él diversas zonas térmicas y diferenciándolas de zonas de sombras, lo cual será de especial importancia durante la realización de este proyecto.

3.3.2 Trnsys

Es un software comercial desarrollado por la “Universidad de Wisconsin” que se usa para simular el comportamiento de sistemas transitorios. Mientras que la gran mayoría de las simulaciones se centran en la evaluación del rendimiento de los sistemas de energía térmica y eléctrica, “TRNSYS” además, se puede utilizar para modelar otros sistemas dinámicos como el flujo de tráfico, o los procesos biológicos.



Figura 3-9 Logo Trnsys [16]

Se compone de dos partes. El primero es un motor (llamado núcleo) que lee y procesa el archivo de entrada, de forma iterativa resuelve el sistema, determina la convergencia, y las variables del sistema parcelas. El núcleo también proporciona utilidades que determinan las propiedades termofísicas, matrices inversas, realizan regresiones lineales, e interpolar los archivos de datos externos. [16]

La segunda parte es una extensa biblioteca de componentes, cada uno de los modelos que el rendimiento de una parte del sistema. La biblioteca estándar incluye aproximadamente 150 modelos que van desde bombas a los edificios de múltiples zonas, turbinas eólicas a electrolizadores, procesadores de datos meteorológicos, y equipos de climatización básica. Los modelos se construyen de tal manera que los usuarios pueden modificar los componentes existentes o escribir su propio, ampliando las posibilidades del programa.

Se pueden importar diseños realizados en “Sketchup”, siempre que se hayan diseñado previamente con el plugin de “trnsys”, para poder trabajar sobre él.

3.3.3 *Meteonorm*

Es un software que se utiliza como referencia meteorológica, y que nos permite acceder un catálogo de datos meteorológicos par aplicaciones solares y diseño de sistemas en cualquier lugar deseado del mundo. Posee bases de datos de 25 años. Es una herramienta de trabajo que va dirigida a diversos sectores como podrían ser profesores, ingenieros, arquitectos, etc. [17]



Figura 3-10 Logo Meteonorm [17]

A través de este programa podemos obtener diferentes parámetros como pueden ser la radiación solar, la precipitación, la humedad así como sus propios parámetros, azimut y elevación, entre otras muchas cosas. Permite además, introducir los efectos causados por los efectos del horizonte, que pueden provocar variaciones a la hora de obtener los diferentes parámetros.

Se pueden importar modelos ya diseñados para poder evaluar la influencia de los efectos meteorológicos sobre dichos modelos.

4 DESARROLLO DEL TFG

4.1 Secuencia de trabajo

Para llevar a cabo el desarrollo del trabajo, usaremos una serie de programas informáticos que nos ayudarán de una manera secuencial a conseguir los datos finales que estamos buscando. Los programas que vamos a utilizar no son independientes, ya que todo lo que hagamos en cada uno de ellos tiene su repercusión en los demás. Por ello, es importante tener en cuenta la secuencia de trabajo que estos programas, de manera que seamos capaces de sacar todo su rendimiento para la simulación.

Así pues, el orden de trabajo será el siguiente: primero definiremos el modelo simplificado en “Sketchup”, posteriormente exportaremos este modelo a “Trnsys”, en donde terminaremos de definir las características del edificio a través de la aplicación “Trnbuilt” y añadiremos la influencia del factor meteorológico a través de un archivo proveniente del programa “Meteonorm”. Por último, tras definir el edificio y todos los elementos de climatización, podremos realizar la simulación de nuestro edificio en “Trnsys”.

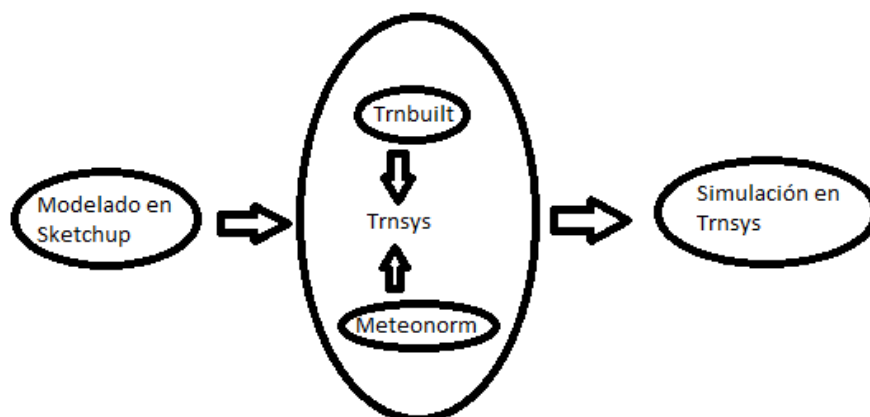


Figura 4-1 Esquema empleo softwares

4.2 Modelado del edificio en Sketchup

El diseño del edificio se va a realizar de forma simplificada, no van a tenerse en cuenta todas las superficies que definen el edificio de forma exacta, de tal manera que el modelo final estará representado por rectángulos que representarán nuestras diferentes zonas térmicas del edificio en las cuales se realizará el estudio. Por tanto, no se representará el techo del edificio ni las diferentes profundidades de la fachada por considerarse que de cara al estudio, el modo en que estos factores influyen en el resultado final es mínimo e irrelevante.

Se eligió el programa de modelado en 3 dimensiones (3D) “Sketchup” debido a su simplicidad y a su fácil uso, pero sobre todo a que dicho programa permite la incorporación de una serie de extensiones por medio de plugins con los que podemos aumentar su rendimiento y nos permite obtener más soluciones a partir del modelo.

Uno de estos plugins y el que se ha utilizado es el plugin o extensión del programa de simulación térmica “Trnsys”. Una vez instalemos la extensión, se abrirán un abanico de nuevas opciones con los que podremos trabajar para obtener un modelo térmico. La extensión nos permitirá diferenciar el modelo en diversas zonas térmicas que actuarán de forma independiente, aunque nunca perdiendo la influencia que unas ejercen sobre el resto, a partir de una serie de parámetros que serán introducidos posteriormente.

El programa además, nos da la opción de geo localizar nuestro modelo, así como la orientación de éste, lo cual será de vital importancia a la hora de establecer las condiciones meteorológicas que van a influir en nuestro modelo y en los cálculos y resultados finales.

4.2.1 Proceso

Para empezar a dibujar hay que tener en cuenta que para poder importar el modelo posteriormente a “Trnsys” es necesario trabajar siempre con la barra de herramientas de la extensión de dicho programa.

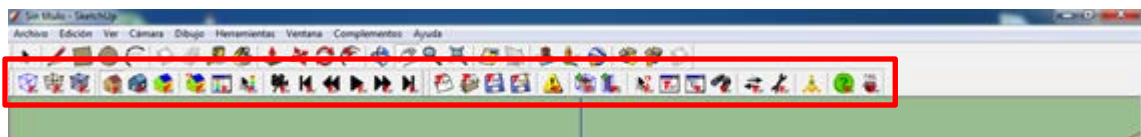


Figura 4-2 Barra de herramientas Trnsys en Sketchup

El edificio está compuesto por dos plantas, una baja y una superior, y en su interior está dividido en múltiples zonas como son los despachos de profesores del Centro Universitario de la Defensa, seminarios o pasillos.

Para el diseño y la posterior simulación térmica se han unificado estas zonas y se han dividido teniendo en cuenta su orientación, Sur o Norte, ya que dependiendo de ésta es donde se observarán mayores cambios de temperatura debido al efecto de la luz solar en las paredes de la cara Sur y del viento y la proximidad al mar de la cara Norte. El pasillo se dividió en dos pasando cada mitad a formar parte de cada región térmica.

Teniendo esto en cuenta y tomándolo como partida se dividió el edificio en cuatro zonas, dependiendo de la planta y de la orientación:

- Zona Norte Baja
- Zona Sur Baja
- Zona Norte Superior
- Zona Sur Superior

Para poder empezar a definir el modelo lo primero es tener en cuenta las medidas de éste. Las distancias de las paredes y suelos del edificio, como se comentó en apartados anteriores son:

Zona Térmica	Longitud	Ancho	Altura
Norte Baja	50 m	6 m	5,45 m
Sur Baja	50 m	6 m	5,45 m
Norte Superior	50 m	7,75 m	4,52 m
Sur Superior	50 m	7,75m	4,52 m

Tabla 4-1 Medidas zonas térmicas

Una vez conocemos las medidas, el proceso de diseño es sencillo. Comenzamos seleccionando la opción en la barra de la extensión de “Trnsys” que nos permite establecer una zona térmica. Una vez establecida, definimos dentro de nuestra zona térmica una de las zonas del edificio. El programa nos permite cambiar el nombre predefinido con el que aparece la zona térmica por el que nosotros queramos, de manera que sea más cómodo identificarla después.

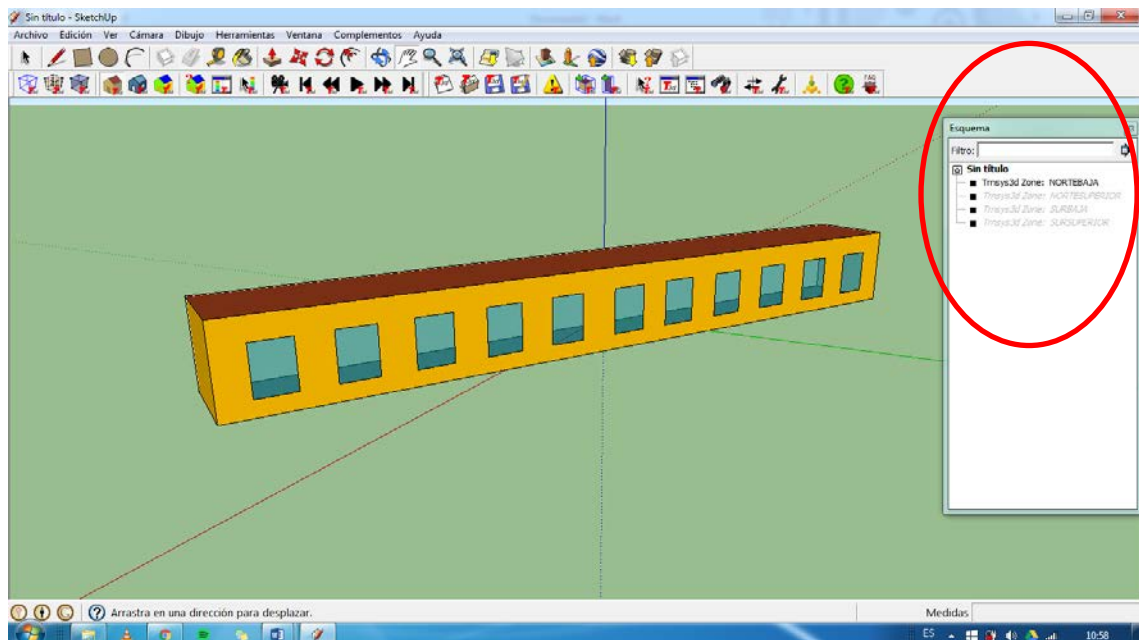


Figura 4-3 Diseño modelo en Sketchup

Seguimos el mismo procedimiento para el resto de zonas, de tal manera que tengamos el edificio final unido pero separado en cuatro zonas térmicas al mismo tiempo. Una vez delimitadas nuestras cuatro zonas térmicas es necesario dibujar en las caras exteriores las ventanas del edificio.

Para pintar las ventanas del edificio podemos hacerlo de dos maneras, la primera es utilizando una opción que nos ofrece el programa “Sketchup”, por el cual, a través de una foto real de la fachada del edificio, que podemos obtener o bien de la aplicación de “Google Earth”, o a través de una foto particular, pegarla en la fachada de nuestro modelo y pintar las ventanas sobre la foto. En nuestro caso, al tratarse de un edificio que se encuentra dentro de un recinto militar, no es posible que exista una foto de la fachada, por lo que optaremos por la partir de una foto particular.



Figura 4-4 Vista fachada sur del edificio

La segunda opción es básicamente utilizar los planos del edificio para pintar las ventanas directamente sobre las paredes. Las ventanas de las que dispone el edificio son como se puede ver en la Tabla 3-1.

Al final se optó por esta opción debido a que a partir de la foto obtenida no se podía conseguir unas medidas reales de las ventanas del edificio. Así, las fachadas del edificio final quedaron de la siguiente manera:

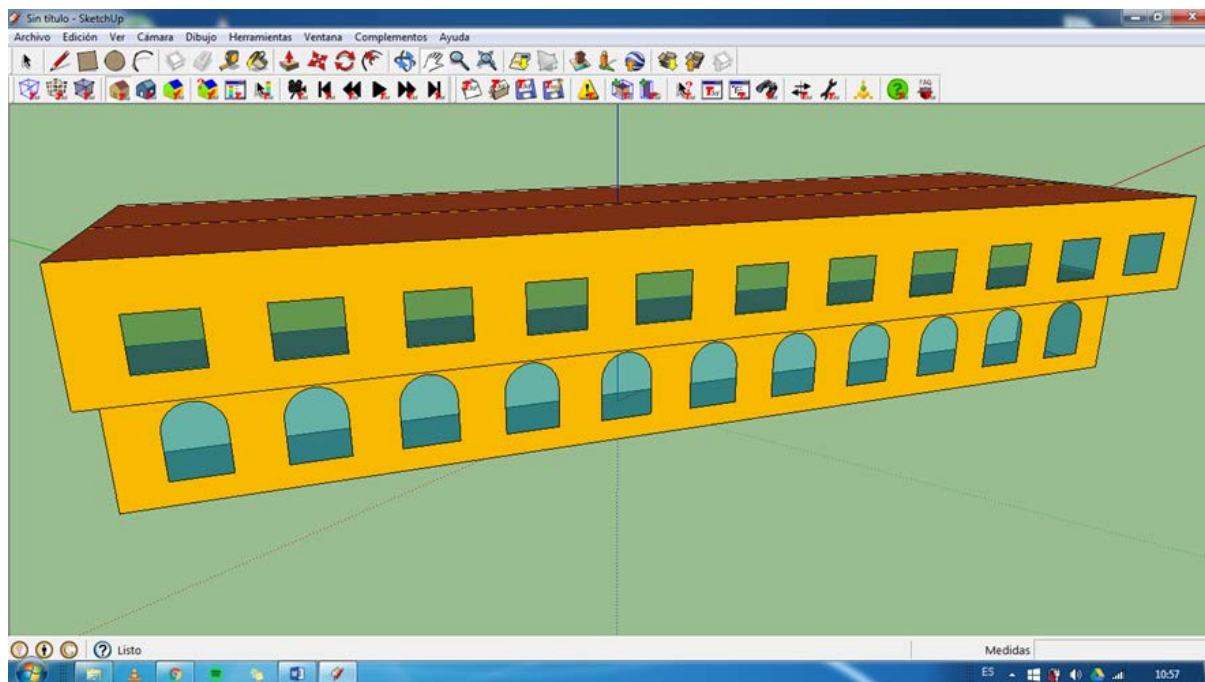


Figura 4-5 Diseño final del edificio en Sketchup

Una vez diseñado las diferentes zonas térmicas es necesario para su posterior estudio, definir las condiciones de los cerramientos que componen cada una de dichas zonas. Cada zona térmica va a estar compuesta y definida por seis caras o paredes. Definiremos pues, las paredes de cada zona que den al exterior como “EXT_WALL” o paredes exteriores, las paredes que separen diferentes zonas serán “ADJ_WALL” o paredes adyacentes.

Para definir los suelos, definiremos el suelo de las zonas de la planta baja y la parte del suelo de la zona “Sur Superior” que da al exterior, como “GROUND_FLOOR”, y a los suelos de las plantas superiores que son adyacentes a los techos de las plantas bajas, al tener los mismos parámetros, ambos serán denominados como “ADJ_CEILING”, tanto los suelos como los techos. Los techos de las plantas superiores no dan al exterior, sino que dan a una zona intermedia entre el tejado y estos, aunque no se represente en el modelo, por tanto, el techo será denominado como “BND_CEILING”, o techo fronterizo.

Una vez terminado el diseño y modelado de nuestro edificio en “Sketchup” es necesario guardarlo a través de la barra de herramientas de la extensión como un archivo “.idf” de tal manera que podamos exportarlo y abrirlo posteriormente con “Trnsys”.

4.3 Simulación térmica del edificio en Trnsys

Tras finalizar el diseño en tres dimensiones de nuestro edificio el siguiente paso es importarlo al programa “Trnsys”, donde podremos simular a través de la introducción de una serie de parámetros y elementos, las temperaturas de nuestras zonas térmicas así como la radiación solar que afecta a cada una de ellas, entre otras muchas soluciones.

Al abrir el archivo “.idf” deberemos seleccionar como modo de trabajo al correspondiente al de un modelo en 3D. Una vez abierto el archivo en el programa podremos empezar a trabajar con él. Ya de

primeras, vamos a observar que junto a nuestro edificio aparecen una serie de elementos que están interconectados entre sí y también están conectados a nuestro edificio. Un archivo meteorológico, en el cual introduciremos la información procedente de la zona, un elemento que funciona como un controlador diferencial de la luz, así como una serie de “outputs” que nos darán los resultados de irradiación y temperaturas del edificio.

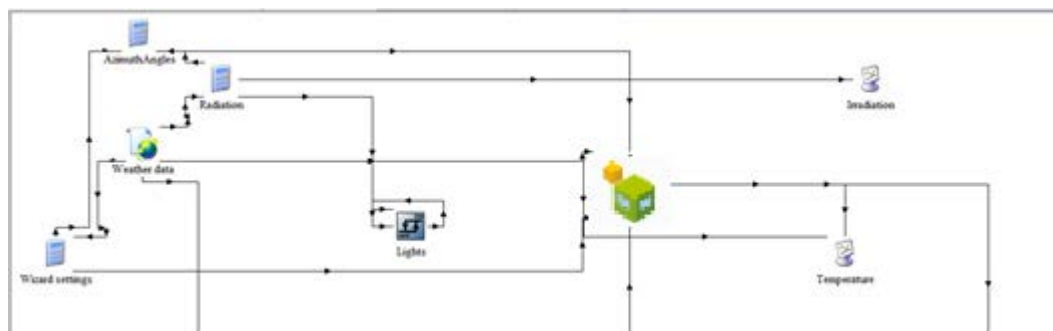


Figura 4-6 Vista inicial de Trnsys

Estos elementos o types poseen una serie de parámetros que los definen, así como una serie de entradas o “inputs” y salidas o “outputs”, que definen los enlaces que pueden tener estos types entre ellos. Existe una gran variedad de types distintos y cada uno de ellos representa un elemento o función. Por ejemplo, podemos tener types que pueden ser utilizados como la bomba de calor, otros como los fancoils o un type puede ser un termostato.

Todos estos types vienen recogidos en una librería que posee el programa en la cual vienen organizados según el tipo y función. Antes de llevar a cabo la simulación del edificio es necesario configurar todos los parámetros de estos types, así como los inputs y outputs de las uniones existen entre ellos y que los interrelacionan.

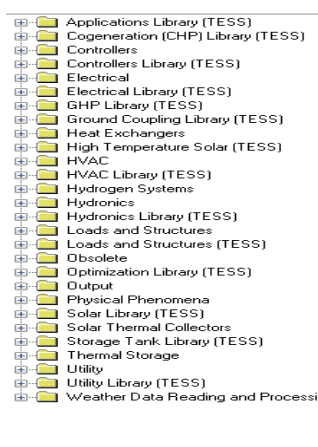


Figura 4-7 Librerías de Trnsys

Nuestro edificio también necesita de una configuración más detallada, ya que con la información que obtiene del archivo del diseño en 3D no es suficiente.

4.3.1 Definición de los parámetros del edificio en Trnbuild

Dentro de “Trnsys” existe una aplicación que nos permite definir de manera precisa todos los parámetros de nuestro edificio. Esta aplicación se conoce como “Trnbuild”, y nos permite definir las características de los cerramientos de nuestro edificio, sus ventanas, la ventilación, el modo calor y frío, las ganancias, el modo de confort, calendarios, etc.

Nos permite configurar todos estos parámetros de manera general y posteriormente, especificando dentro de cada determinada zona térmica.

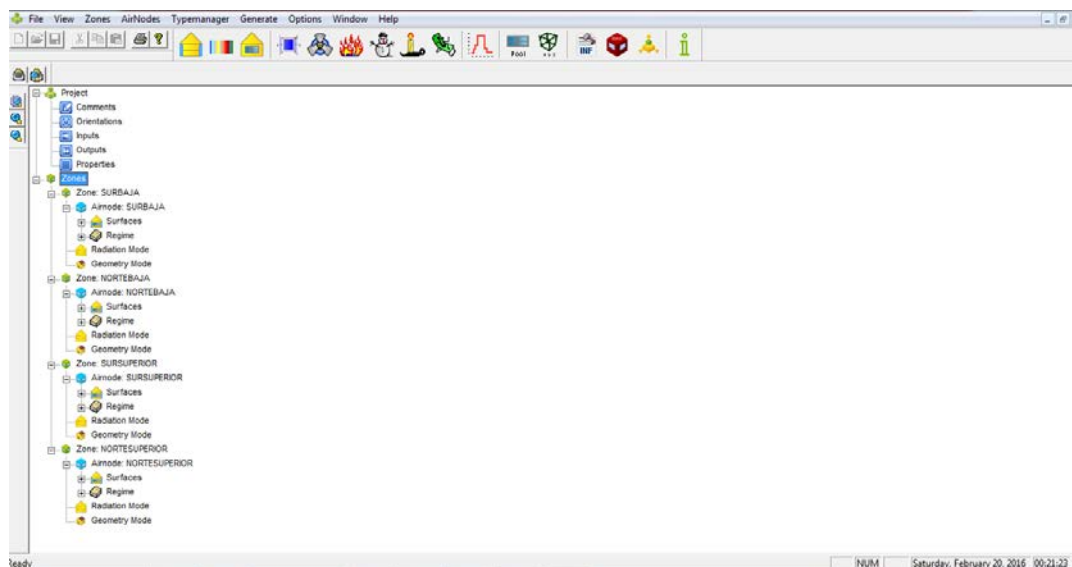


Figura 4-8 Interfaz de Trnbuild

Lo primero ahora será definir los cerramientos de las diferentes zonas térmicas. Para ello estableceremos los materiales y los grosores que los componen. Para ello partiremos de los datos obtenidos en el Anexo I. Para definir estos cerramientos podemos partir de una librería predeterminada en la cual se nos ofrece una gran variedad de materiales con sus valores de conductividad, capacidad y densidad ya establecidos o por otro lado, podemos definir los materiales nosotros mismos.

A los cerramientos nombrados anteriormente hay que añadirles el hecho de que al existir una diferencia de grosor entre las paredes exteriores de la planta baja y la superior, es necesario dividir la pared exterior o “EXT_WALL” en dos, que serán “PAREDEXT_BAJA” y “PAREDEXT_SUP”.

Los cerramientos quedarían pues, ordenando los materiales desde dentro del edificio hacia afuera, definidos de la siguiente manera:

- “ADJ_CEILING” o techo adyacente:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ALUMINIO_TECO	0.005	massive
2	LANA_MINERAL	0.070	massive
3	CAMARADEAIRE		massless
4	FORJADO_HORMI...	0.300	massive
5	ENCACHADO	0.020	massive
6	MÁRMOL	0.030	massive

back

Figura 4-9 Materiales y grosores techo adyacente

- “BND_CEILING” o techo fronterizo:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ALUMINIO_TECO	0.005	massive
2	LANA_MINERAL	0.070	massive
3	CAMARADEAIRE		massless
4	FORJADO_HORMI...	0.300	massive
5	ENCACHADO	0.020	massive

back

Figura 4-10 Materiales y grosores de techo fronterizo

- “GROUND_FLOOR” o suelo de la planta baja:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	MÁRMOL	0.030	massive
2	ENCACHADO	0.030	massive
3	LANA_MINERAL	0.070	massive
4	FORJADO_HORMI...	0.030	massive

back

Figura 4-11 Materiales y grosores del suelo planta baja

- “EXT_FLOOR” o suelo exterior:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	MÁRMOL	0.030	massive
2	ENCACHADO	0.020	massive
3	FORJADO_HORMI...	0.300	massive
4	LANA_MINERAL	0.070	massive
5	YESO_LAMINAR	0.015	massive

back

Figura 4-12 Materiales y grosores de suelo exterior

- “ADJ_WALL” o pared adyacente:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	YESO_LAMINAR	0.030	massive
2	LANA_MINER	0.070	massive
3	YESO_LAMINAR	0.030	massive

back

Figura 4-13 Materiales y grosores pared adyacente

- “PAREDEXT_BAJA” o pared exterior planta baja:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ACRÁLICOS	0.001	massive
2	YESO_LAMINAR	0.015	massive
3	LANA_MINERAL	0.015	massive
4	YESO_LAMINAR	0.015	massive
5	CAMARAAIRE		massless
6	LADRILLO_HUECO	0.600	massive
7	ENCACHADO	0.015	massive

back

Figura 4-14 Materiales y grosores de pared exterior planta baja

- “PAREDEXT_SUP” o pared exterior planta superior:

front / inside

No.	Layer	Thickness	Type
1	ACRÁLICOS	0.001	massive
2	YESO_LAMINAR	0.015	massive
3	LANA_MINERAL	0.015	massive
4	YESO_LAMINAR	0.015	massive
5	CAMARAAIRE		massless
6	LADRILLO_HUECO	0.400	massive
7	ENCACHADO	0.015	massive

back

Figura 4-15 Materiales y grosores de pared exterior planta superior

Tras definir los cerramientos que componen nuestras zonas térmicas habrá que definir cuáles de estos corresponden a cada zona y el área que abarca cada uno. De tal manera que el edificio quede definido y perfectamente delimitado. Por tanto, la distribución será de la siguiente manera:

Zona térmica	Cerramientos	Área (m ²)
Norte Baja	ADJ_WALL (SUR BAJA)	269,46
	ADJ_WALL (ESTE)	31,59
	ADJ_CEILING (NOR SUP)	291,92
	GROUND_FLOOR	291,92
	PAREDEXT_BAJA (NOR)	269,46
	PAREDEXT_BAJA (OEST)	31,59
Sur Baja	ADJ_WALL (NOR BAJA)	269,46
	ADJ_WALL (ESTE)	31,59
	ADJ_CEILING (NOR SUP)	94,81
	ADJ_CEILING (SUR SUP)	197,10
	GROUND_FLOOR	291,92
	PAREDEXT_BAJA (SUR)	269,46
	PAREDEXT_BAJA (OEST)	31,59

Norte Superior	ADJ_WALL (SUR SUP)	237,03
	ADJ_WALL (ESTE)	36,81
	ADJ_CEILING (NOR BAJA)	291,92
	ADJ_CEILING (SUR BAJA)	94,81
	BND_CEILING (TECHO)	386,73
	PAREDEXT_SUP (NORTE)	237,02
	PAREDEXT_SUP (OESTE)	36,81
Sur Superior	ADJ_WALL (NOR SUP)	237,03
	ADJ_WALL (ESTE)	36,81
	ADJ_CEILING (SUR BAJA)	197,10
	EXT_FLOOR (EXT)	189,62
	BND_CEILING (TECHO)	386,73
	PAREDEXT_SUP (SUR)	237,03
	PAREDEXT_SUP (OESTE)	36,81

Tabla 4-2 Cerramientos del edificio

El por qué hay cerramientos repetidos en algunas zonas es sencillo. El diseño del edificio se ha realizado de manera independiente, pero esto no quita que en la realidad tenga otros edificios adyacentes. Debido a este hecho, se ha decidido definir las paredes de las caras Este que son adyacentes al edificio de Intendencia en el que además se encuentra la entrada de nuestro edificio como “ADJ_WALL”.

Por otro lado, las paredes Oeste de las zonas dan a la entrada situada en el túnel del viento, por lo que prácticamente se encuentran en el exterior y sufren unas pérdidas de calor tales que las denominaremos “PAREDEXT_BAJA/SUP”.

A todo esto hay que sumarle el hecho de que las plantas superiores son más anchas que las bajas, por lo que los suelos de unas y los techos de otras no coinciden a la perfección, por eso el suelo de la planta NORTE SUPERIOR coincide con los dos techos de las zonas Sur y Norte de la planta baja; así como el suelo de la planta SUR SUPERIOR coincide con el techo de SUR BAJA y también con el exterior.

Una vez definidos que cerramientos pertenecen a cada zona hay que determinar las características de cada uno de estos cerramientos:

Cerramiento	Grosor (m ²)	Transmitancia (W/m ² *K)	Coef. Convección (KJ/h*m ² *K)	
			Interior	Exterior
ADJ_CEILING	0,425	0,39	11	11
BND_CEILING	0,395	0,391	11	11
ADJ_WALL	0,13	0,422	11	11
EXT_FLOOR	0,435	0,467	11	64
GOUND_FLOOR	0,16	0,45	11	0,001
PAREEXT_BAJA	0,661	0,478	11	64
PAREEXT_SUP	0,521	0,316	11	64

Tabla 4-3 Características de los cerramientos

Tras definir los cerramientos pasaremos a definir la ventilación del edificio siguiendo lo establecido en el Anexo I en el cual se indica que a partir de un climatizador se renueva el aire interior de las zonas a través de la aportación de un volumen de 1,5 renovaciones por hora.

Figura 4-16 Ventilación

El siguiente paso consiste en determinar las ganancias del edificio dependiendo de las zonas térmicas. Para necesitamos los datos de ocupación, ofimática y luz artificial de cada zona térmica ya que estos factores aportarán calor al local. Para poder determinar con precisión en que momento estos factores afectan a nuestras zonas es necesario establecer un calendario de ocupación en el cual se establezca en que períodos dichos factores deben tenerse en cuenta.

Para la realización del calendario se ha seguido el calendario académico establecido por el Centro Universitario de la Defensa en el cual vienen reflejados los períodos lectivos en los que los seminarios de las plantas bajas están ocupados por diferentes grupos de clase de las distintas brigadas. Este calendario diferencia entre semana A y B en la que la distribución de clases varía a lo largo de la semana y se van alternando entre ellas. Para las plantas superiores este calendario no afectará ya que los despachos funcionan igual todas las semanas y no dependen de un calendario, sino de unos horarios de trabajo.

Por lo tanto, los calendarios de ocupación quedarían definidos de la siguiente manera:

SUR BAJA SEMANA A					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	0	0	0	0	0
1000-1200	0	0	0	0	10
1200-1400	0	0	0	0	0
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	0	10	10	10	0
1800-2100	0	0	0	0	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-4 Calendario planta Sur baja semana A

SUR BAJA SEMANA B					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	0	0	0	0	0
1000-1200	10	0	0	10	0
1200-1400	0	20	0	0	0
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	0	20	20	20	0
1800-2100	0	0	0	0	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-5 Calendario planta Sur baja semana B

NORTE BAJA SEMANA A					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	0	0	20	0	0
1000-1200	0	0	0	0	10
1200-1400	0	0	10	0	0
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	0	10	20	10	0
1800-2100	0	0	0	0	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-6 Calendario planta Norte baja semana A

NORTE BAJA SEMANAB					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	0	10	10	20	0
1000-1200	20	20	10	10	10
1200-1400	20	20	10	0	0
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	0	20	10	10	0
1800-2100	0	0	0	0	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-7 Calendario planta Norte baja semana B

SUR SUPERIOR					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	25	25	25	25	25
1000-1200	25	25	25	25	25
1200-1400	25	25	25	25	25
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	25	25	25	25	0
1800-2100	12	12	12	12	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-8 Calendario planta Sur superior

NORTE SUPERIOR					
HORAS	LUNES	MARTES	MIÉRCOLES	JUEVES	VIERNES
0000-0800	0	0	0	0	0
0800-1000	18	18	18	18	18
1000-1200	18	18	18	18	18
1200-1400	18	18	18	18	18
1400-1600	0	0	0	0	0
1600-1800	18	18	18	18	0
1800-2100	9	9	9	9	0
2100-2400	0	0	0	0	0

Tabla 4-9 Calendario planta Norte superior

En rojo se marca el número de ocupantes que hay por zona térmica en cada período de tiempo. Se introdujeron estos valores en “trnbuild” para generar un calendario diferenciando cada día y cada semana dependiendo de la zona térmica. Los sábados y domingos se determinaron como períodos de fin de semana en los cuales no hay actividad en el edificio.

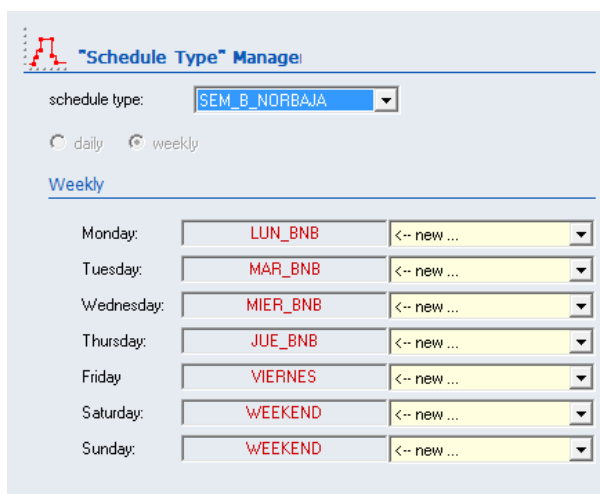


Figura 4-17 Calendario semanal en Trnbuild

Este calendario se va a utilizar para determinar en qué medida las distintas ganancias afectan al calor aportado a los locales. La relación entre las ganancias y el calendario se introducirá dentro de cada zona determinada. Para determinar el número de personas se multiplicará el valor del calendario y sus respectivos períodos por un valor máximo de 1.

Además hay que tener en cuenta que la actividad realizada por los ocupantes influye también en la medida en la que estos aportan calor al ambiente, por lo que determinaremos que los ocupantes se encuentran sentados y escribiendo constantemente. Para introducir el calor aportado por la ofimática hay que diferenciar entre plantas, ya que mientras en la planta superior hay un ordenador por ocupante, en la planta baja solo habrá uno por cada diez, por lo que tendremos que multiplicar los valores del calendario por 0,1.

Para representar las ganancias que producen las luces de las zonas se calcularon los vatios totales por zonas y dividieron por los metros cuadrados de superficie en los que se repartía la potencia lumínica. El conjunto de luces que existen en las zonas térmicas se dividen en luces de 3x18W, 3x36W, 2x20W y 100W, distribuyéndose de la siguiente manera:

POT LUMÍNICA (W)	54	108	100	40	TOTAL
SURBAJA	0	44	11	0	5852
NORBAJA	0	22	10	24	4336
SURSUPERIOR	0	44	11	9	6212
NORSUPERIOR	0	43	18	12	6924
TOTAL	0	153	50	45	23324

Tabla 4-10 Potencia lumínica

Al conocer la potencia total por zonas y el área en la que iban a actuar pudimos calcular que la ganancia en las zonas Sur Baja, Norte Baja, Sur Superior y Norte Superior eran 17, 19, 13 y 17 W/m² respectivamente. Se definirán todas las luces como luces de tubos fluorescentes con carácter convectivo del 40%. Además el calendario del que dependan estas luces se estableció como un horario de trabajo durante la semana y como de fin de semana el sábado y el domingo.

Un ejemplo de cómo rellenar un cuadro de ganancias sería el siguiente:

Persons

off ☒ ISO 7730 Table Seated, light work, typing degree of activity
on ☐ VDI 2078 Table
scale: [S:1*SEM_NSUP] geo position: 0

Computer

off ☒ 230 W/ PC with colour mon computer type
scale: [S:1*SEM_NSUP] geo position: 0

Artificial Lighting

off ☐ related floor area: 327.81 m²
on ☒ total heat gain control strategy
17 W/m² EVG direkt/indir [S:1*LIGHT]
convective part scale
40 % fluorescent tube [S:1*LIGHT] geo position: 0

Other Gains

Type	Scale	Geo Position
BC_NORSUPERIOR	1	0

gain type: [BC_NORSUPERIOR] <-- new ...
scale: [1] geo position: 0

Figura 4-18 Cuadro de ganancias en Trnbuild

Una vez determinados todos estos parámetros ya tendremos definido nuestro edificio y podremos empezar a trabajar en “trnsys” y con los types que lo complementan.

4.3.2 Implementación de los elementos en Trnsys

El siguiente paso será determinar el resto de elementos que interactúan con el edificio. Para ello, usaremos una serie types que nos ofrece el programa para simular su funcionamiento. También habrá que determinar en qué manera todos estos elementos, que pasarán a ser nodos, se relacionan entre sí por medio de uniones.

Primero en el type “Weather data” introduciremos un archivo meteorológico de los datos de la Provincia de Pontevedra, que será el que afecte directamente al edificio. Las uniones entre este type y el edificio vienen predeterminadas al iniciar al programa. La información que vamos a introducir en este type es la obtenida a partir del programa “Meteonorm” que nos dará la información de los últimos diez años en Pontevedra a partir de un registro que realiza una estación que allí se encuentra.

A continuación introduciremos nuestra bomba de calor aire-agua a través del “type941” que se encuentra dentro de la carpeta de la librería de “TESS” en “HVAC”.



Figura 4-19 Icono type941

Primero tendremos que introducir los parámetros de la bomba que van a influir en el resto de la simulación. Para ello tomaremos los datos obtenidos de la Tabla 3-2, de la que obtenemos una capacidad de enfriamiento de 138 kW, un poder de enfriamiento de 44,6 kW, una capacidad de calefacción de 153 kW y un poder de enfriamiento de 44,9 kW. Tendremos que definir el caudal de aire total que será 36500 m³/h.

Parameter	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
9		Specific heat of DHW stream	4.190	kJ/kg.K	More...	☒
10		Blower power	662	kJ/hr	More...	☒
11		Total air flow rate	36500	m ³ /hr	More...	☒
12		Rated cooling capacity	138	kW	More...	☒
13		Rated cooling power	44.6	kW	More...	☒
14		Rated heating capacity	153	kW	More...	☒
15		Rated heating power	44.9	kW	More...	☒
16		Capacity of auxiliary	0.0	kJ/hr	More...	☒

Figura 4-20 Cuadro parámetros bomba de calor

Se ha variado los datos de capacidad y potencia tanto de enfriamiento como de calefacción de la bomba que son los propios de la bomba existente. Posteriormente habrá que añadir dos archivos externos, uno de enfriamiento y otro de calefacción en el que se recojan los datos de capacidad y poder dependiendo de unas temperaturas determinadas.

Los datos de calefacción se obtuvieron a través de las siguientes tablas:

HEATING CAPACITY CORRECTIVE COEFFICIENTS

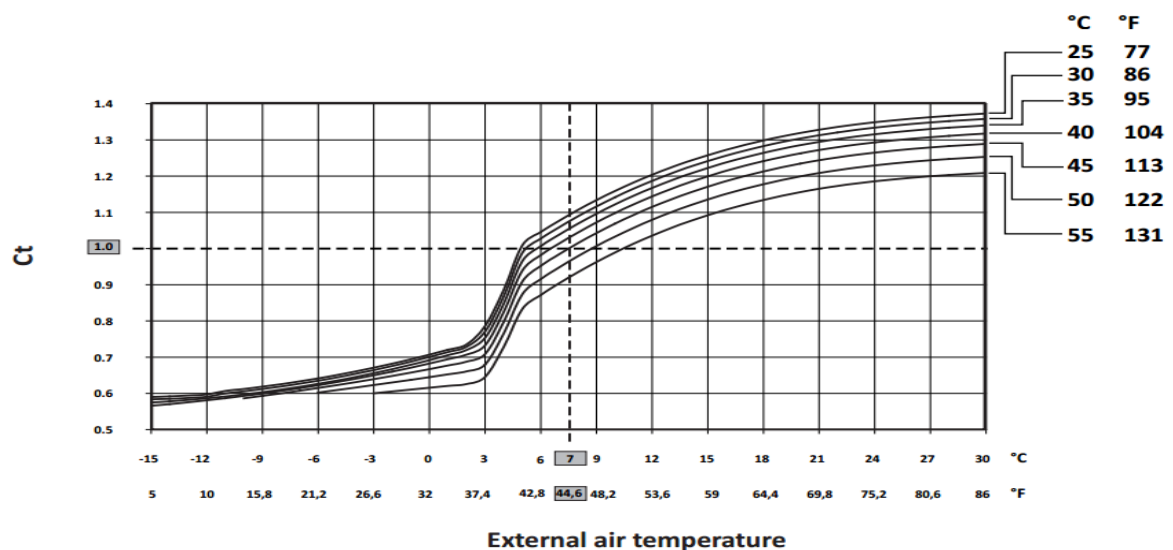


Figura 4-21 Tabla coeficientes de calefacción bomba de calor

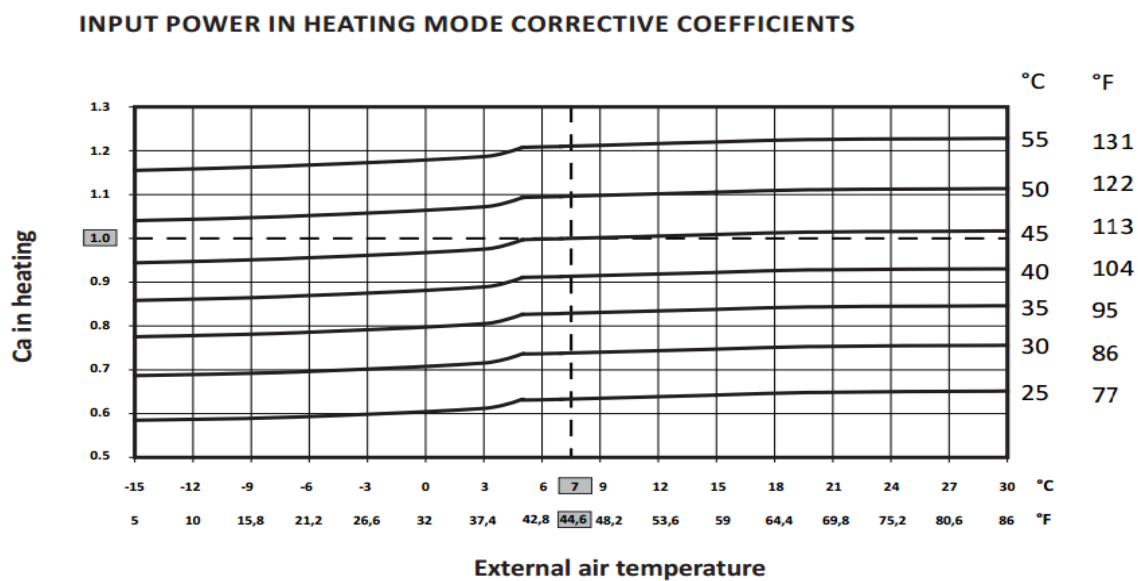


Figura 4-22 Tabla potencia calefacción bomba de calor

Para obtener el archivo de calefacción de la bomba se tomaron de las anteriores tablas los valores de 25, 30, 35, 40, 45, 50 y 55 ° C para la temperatura del agua; y 0, 3, 6, 12, 18, 24 y 30 ° C de temperatura del aire. Se extrajeron los siguientes datos:

Temp aire/agua	25	30	35	40	45	50	55
0	0,71	0,7	0,695	0,685	0,67	0,65	0,62
3	0,79	0,77	0,76	0,74	0,72	0,69	0,65
6	1,055	1,028	1,01	0,99	0,96	0,93	0,88
12	1,21	1,19	1,17	1,15	1,12	1,08	1,04
18	1,31	1,29	1,27	1,25	1,22	1,18	1,14
24	1,36	1,34	1,32	1,3	1,27	1,24	1,2
30	1,38	1,37	1,35	1,33	1,3	1,26	1,22

Tabla 4-11 Datos coeficientes de calefacción bomba de calor

Temp. aire/agua	25	30	35	40	45	50	55
0	0,600	0,700	0,800	0,880	0,970	1,060	1,180
3	0,610	0,710	0,810	0,890	0,980	1,070	1,190
6	0,630	0,730	0,830	0,910	1,000	1,090	1,210
12	0,640	0,740	0,840	0,920	1,010	1,100	1,215
18	0,640	0,740	0,840	0,930	1,018	1,105	1,225
24	0,645	0,745	0,845	0,935	1,020	1,110	1,230
30	0,650	0,750	0,850	0,940	1,022	1,120	1,235

Tabla 4-12 Datos poder de calefacción bomba de calor

Los datos de enfriamiento se obtuvieron de las siguientes tablas:

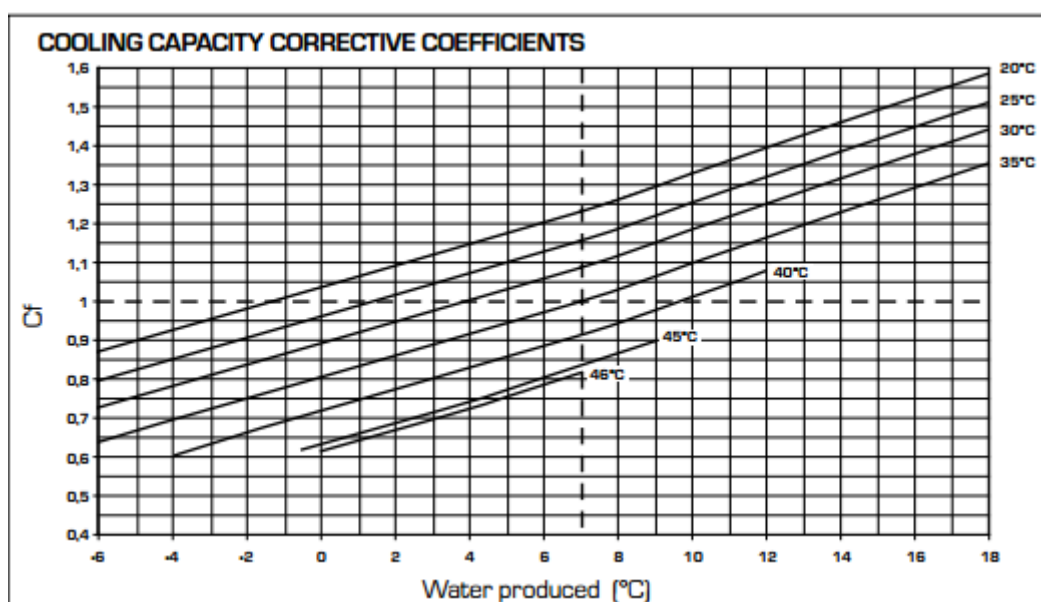


Figura 4-23 Tabla coeficientes enfriamiento bomba de calor

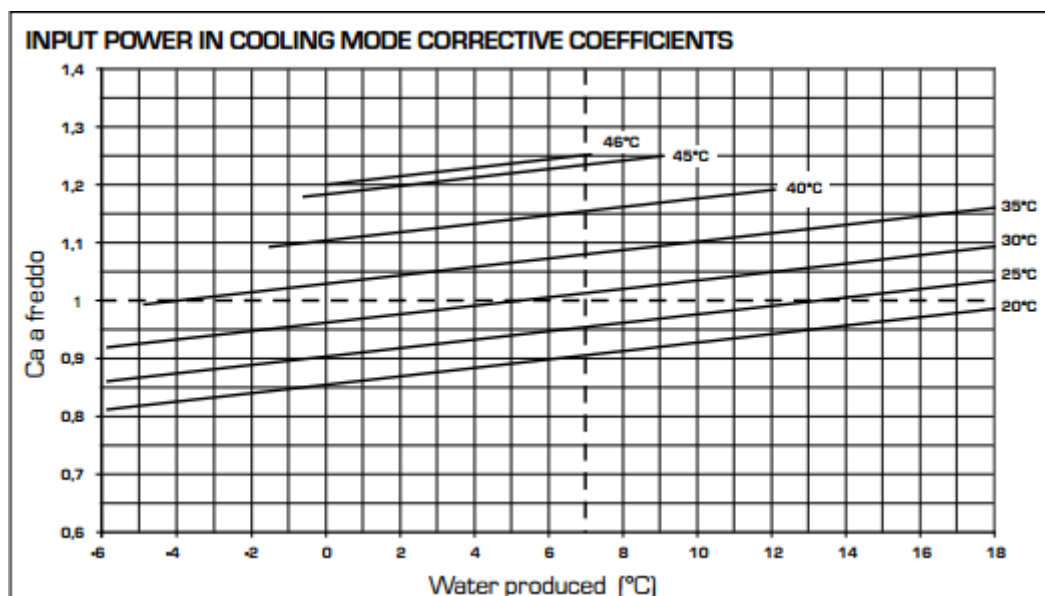


Figura 4-24 Tabla datos poder enfriamiento bomba de calor

Para la temperatura del aire se tomaron los datos de 20, 25, 30, 35, 40 y 45 ° C; mientras que para la temperatura del agua se tomó -6, -2, 2, 6, 10, 14 y 18 ° C. Se obtuvieron los siguientes datos:

Temp. aire/agua	-6	-2	2	6	10	14	18
20	0,860	0,980	1,090	1,200	1,320	1,450	1,580
25	0,800	0,900	1,010	1,120	1,250	1,370	1,500
30	0,720	0,830	0,940	1,050	1,171	1,310	1,430
35	0,630	0,740	0,860	0,960	1,090	1,220	1,340
40	0,530	0,650	0,770	0,870	1,000	1,120	1,240
45	0,440	0,560	0,680	0,800	0,920	1,040	1,160

Tabla 4-13 Datos coeficientes de enfriamiento bomba de calor

Temp. aire/agua	-6	-2	2	6	10	14	18
20	0,805	0,835	0,865	0,895	0,925	0,954	0,980
25	0,855	0,885	0,915	0,945	0,975	1,007	1,035
30	0,915	0,945	0,975	1,005	1,035	1,065	1,095
35	0,980	1,015	1,045	1,075	1,105	1,135	1,160
40	1,060	1,090	1,120	1,150	1,180	1,210	1,240
45	1,135	1,165	1,200	1,230	1,260	1,290	1,320

Tabla 4-14 Datos poder enfriamiento bomba de calor

El siguiente paso será introducir los types que definen los fancoils que trabajan en las diferentes zonas térmicas. Para ello habrá que hacer uso del “type600”, que se encuadra dentro de la carpeta “HVAC” de la librería de “TESS”.



Figura 4-25 Icono type600

Recordemos que en nuestro edificio se encontraban funcionando tres tipos distintos de fancoils, dependiendo de la zona térmica, por lo que a la hora de definir los parámetros de cada uno deberemos tener esto en cuenta. Los tipos de fancoils son el “fxc-p 22”, “fxc-p 32” y “fxc-p 42”.

De los datos obtenidos de Figura 3-5 deducimos una serie de datos como las diferentes potencias, tanto de enfriamiento como de calefacción, así como los caudales de aire necesarios de cada uno. Se ha simplificado el número total de fan coils que hay por zona en uno solo que aporte las mismas características que la suma de todos los anteriores, a modo representativo.

Los fan coils disponen de tres potencias tanto para frío como para calor, máxima, media y mínima, y de una potencia máxima del motor.

Los parámetros que necesitamos introducir son el caudal de aire y la potencia máxima de cada fancoil, así como la relación entre las potencias máximas, mínimas y medias. Para poder relacionar estos factores dentro del programa, se pueden utilizar unos elementos conocidos como “equation”, con los que podemos definir una serie de ecuaciones para que funcionen en el programa.

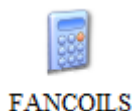


Figura 4-26 Icono equation fancoils

En este type definiríamos las siguientes ecuaciones y relaciones que deben cumplirse para obtener los datos correctos:

```
caudal_FXP22_tabla = 290 !m3/h
caudal_FXP32_tabla = 450 !m3/h
caudal_FXP42_tabla = 600 !m3/h
d_aire = 1.2 !kg/m3
Fan_power_FXP22 = 25 !W
Fan_power_FXP32 = 44 !W
Fan_power_FXP42 = 57 !W
caudal_FXP22 = caudal_FXP22_tabla*d_aire !kg/h
caudal_FXP32 = caudal_FXP32_tabla*d_aire !kg/h
caudal_FXP42 = caudal_FXP42_tabla*d_aire !kg/h
Q_SURBAJA = caudal_FXP42*11
Q_NORTEBAJA = caudal_FXP22*11
Q_SURSUPERIOR = caudal_FXP42*20
Q_NORTESUPERIOR = caudal_FXP32*19
P_SURBAJA = Fan_power_FXP42*11*3.6 !kJ/h
P_NORTEBAJA = Fan_power_FXP22*11*3.6 !kJ/h
P_SURSUPERIOR = Fan_power_FXP42*20*3.6 !kJ/h
P_NORTESUPERIOR = Fan_power_FXP32*19*3.6 !kJ/h
caudal_agua = 24600 !l/h
```

Figura 4-27 Script equation fancoils

Una vez definidas las ecuaciones podemos introducir los diferentes parámetros de los que dependen nuestros fancoils:

Parameter						
	Input	Output	Derivative	Special Cards	External Files	Comment
		Name	Value	Unit	More	Macro
1		Specific heat of liquid stream	4.190	kJ/kg.K	More...	☒
2		Humidity mode	2	-	More...	☒
3		Rated air flow rate	Q_NORTESUPERIOR	string	More...	☒
4		Rated fan power	P_NORTESUPERIOR	string	More...	☒
5		Motor efficiency	0.9	-	More...	☒
6		Motor heat loss fraction	1.	-	More...	☒
7		Number of power coefficients	3	-	More...	☒
8		Power coefficient 1	0.5		More...	☒

Figura 4-28 Cuadro parámetros fancoils

Los cuatro fancoils generan cuatro líneas de fluido a partir del aire absorbido de los locales, el aire debe ser redirigido a la bomba de calor. Para ello, los flujos serán distribuidos y pasarán todos por un mezclador que permitirá que el total de estos fluidos llegue directamente a la bomba de calor. Para definir el mezclador utilizaremos el “type649”, en el que determinaremos únicamente el número de flujos que van a pasar por él.



Figura 4-29 Icono type649

Tras pasar por el mezclador el fluido pasará por una bomba antes de llegar a la bomba de calor. Esta bomba se utiliza para recircular el agua a través del acumulador, la bomba de calor y los diferentes fancoils. Para representar dicha bomba vamos a utilizar el “type3d”.



Figura 4-30 Icono type3d

Al salir de esta bomba, el agua se dirige al acumulador que es un tanque en el cual el agua sufrirá un control de temperatura para determinar con temperaturas entra pero sobre todo con que temperaturas sale. En este acumulador debemos determinar el volumen total del tanque, que es de 500 l al que vamos a añadir el volumen de las tuberías que distribuyen el agua por las diferentes zonas. Estas tuberías tienen un diámetro de 2,5” por lo que el cálculo aproximado teniendo en cuenta el ancho y largo de todas las zonas nos dará un volumen total de 1310 l. Para representar el acumulador o tanque utilizaremos el “type534”.

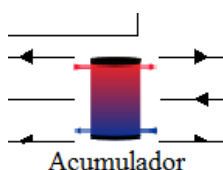


Figura 4-31 Icono type534

Para llevar un control de las temperaturas del tanque y saber cuándo se ha de calentar o enfriar el agua que hay en su interior es necesario utilizar un “type” que monitoriza las temperaturas máximas y mínimas. Para ello fijaremos las temperaturas de enfriamiento en 7° C para activación y en 12° C para monitorización, mientras que fijaremos las de calefacción en 40° C para activación y 10°C para monitorización. El “type” que vamos a utilizar es el “type2-Aquasat”, y usaremos dos, “type2-AquastatC” para enfriamiento y “type2-AquastatH” para calefacción.

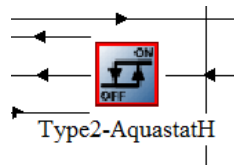


Figura 4-32 Icono type2-AquastatH

El fluido llegaría a la bomba de calor donde sería tratado para poder ser de nuevo distribuido a los locales. Al salir de la bomba, el proceso seguiría el proceso inverso al anterior. Debido a que el fluido sale de la bomba a través de una tubería, será necesario el uso de un divertidor para distribuir el fluido a los fancoils de las diferentes zonas térmicas. El type que se ha de utilizar es el “type647”. Lo único que habrá que determinar en este type será en este caso el número de salidas del fluido, que volverán a ser cuatro, como el número de fancoils.

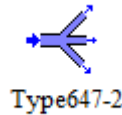


Figura 4-33 Icono type647

Cada zona térmica cuenta además con una serie de termostatos que se utilizan para controlar la potencia de los fancoils y su modo de funcionamiento. Hay muchos types diferentes en las librerías que representan distintos tipos de termostatos, pero el que nosotros vamos a utilizar es el termostato de cinco velocidades para locales, ya que nos permitirá incluir los tres modos de funcionamiento de los fancoils. En este termostato vamos a fijar las temperaturas de consigna de las zonas, en las que diferenciaremos entre invierno, cuya temperatura será de 20° C y en verano cuya temperatura de consigna será de 26° C. El type que define este termostato es el “type698”.



Figura 4-34 Icono type698

Para determinar los períodos en los que el edificio va a reclamar que el funcionamiento de la bomba sea para enfriar o para calentar lo podemos hacer a base de utilizar un calendario anual en el cual podamos definir estos períodos. Dichos períodos no son más que delimitar los períodos o meses del año en los que hace frío o hace calor, como invierno y verano. Para ello vamos a utilizar el “type515”.

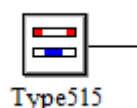


Figura 4-35 Icono type515

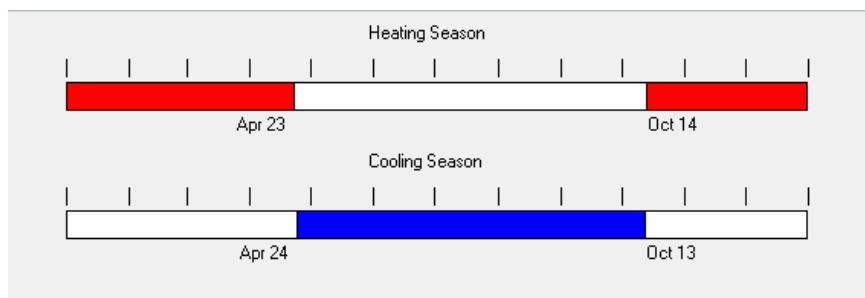


Figura 4-36 Configuración Type515

Algunos types necesitan parámetros y datos reales para poder funcionar, este es el caso de los types correspondientes a la bomba de calor o a los fancoils; por otro lado, hay determinados types que lo que precisan son instrucciones, como son los termostatos o calendarios. Estas instrucciones o inputs que relacionan situaciones de funcionamiento con sus elementos se pueden implementar a través de unos types de los que ya se habló anteriormente que son los “equation”.

En estas “equation” vamos a introducir las órdenes que queremos que los types cumplan dependiendo de la situación. Un ejemplo podría ser genera una ecuación o input que le indique al termostato cuando activar el modo de enfriamiento o calefacción de la bomba.

A parte del “equation” que utilizamos anteriormente para definir los parámetros de los fancoils, vamos a utilizar tres más. Dos de ellos, a los que llamaremos “equa” y “equa-2” dependerán del type del termostato, ya que trabajarán para determinar en qué momentos cada fancoil es requerido para calentar o enfriar.

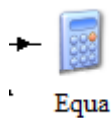


Figura 4-37 Icono equation

Para introducir las instrucciones o inputs deberemos hacerlo en el siguiente cuadro al seleccionar el type:

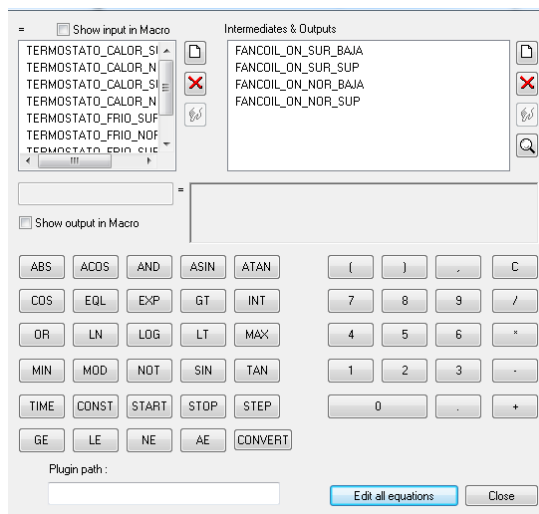


Figura 4-38 Cuadro equation

Aquí tendremos que definir las órdenes de funcionamiento de dichos inputs. Para ello estableceremos que cada modo de funcionamiento solo pueda hacerlo cuando esté multiplicado por un factor igual a 1, y deje de hacerlo cuando este multiplicado por 0. Por tanto tendríamos que definir en el “type equa”:

```
FANCOIL_ON_SUR_BAJA = EQL(THERMOSTATO_CALOR_SUR_BAJA,1)*EQL(MODO_CALOR,1)+EQL(THERMOSTATO_FRIO_SUR_BAJA,1)*EQL(MODO_FRIO,1)
FANCOIL_ON_SUR_SUP = EQL(THERMOSTATO_CALOR_SUR_SUP,1)*EQL(MODO_CALOR,1)+EQL(THERMOSTATO_FRIO_SUR_SUP,1)*EQL(MODO_FRIO,1)
FANCOIL_ON_NOR_BAJA = EQL(THERMOSTATO_CALOR_NOR_BAJA,1)*EQL(MODO_CALOR,1)+EQL(THERMOSTATO_FRIO_NOR_BAJA,1)*EQL(MODO_FRIO,1)
FANCOIL_ON_NOR_SUP = EQL(THERMOSTATO_CALOR_NOR_SUP,1)*EQL(MODO_CALOR,1)+EQL(THERMOSTATO_FRIO_NOR_SUP,1)*EQL(MODO_FRIO,1)
```

Figura 4-39 Script funcionamiento fancoils

Este type dependería directamente de los fancoils como es lógico, por lo que estará unido a estos al mismo tiempo que al termostato, mientras que el “type equa-2” lo hará de la bomba de calor y al termostato. En este equation estableceremos el funcionamiento de la bomba de calor dependiendo de la zona térmica, si es una zona fría o es una zona con calor y de la temperatura del agua en el acumulador. Por tanto definiremos:

```
BC_MODO_CALOR_ZONAS = AND(ZONAS_CALOR,MODO_CALOR)
BC_MODO_FRIO_ZONAS = AND(ZONAS_FRIO,MODO_FRIO)
BC_CALOR = AND(MODO_CALOR,TempTankHeating)
BC_FRIO = AND(MODO_FRIO,TempTankCooling)
```

Figura 4-40 Script parámetros bomba de calor

Para relacionar todo el funcionamiento de los distintos elementos del sistema y cómo interactúan con el edificio crearemos un tercer equation, llamado “BC” en donde definiremos dicha relación o

interacción. El funcionamiento de la bomba y las fancoils van a regular la temperatura del interior del edificio, pero al hacerlo también van a generar un calor que va a actuar en forma de ganancia en las diferentes zonas térmicas del edificio. Por lo tanto, lo que se va a introducir en el equation va a ser un resumen de lo anterior de manera que el edificio entienda en qué manera este trabajo le afecta. De este modo introduciríamos en el equation:

```
MODO_CALOR = MODO_CALOR_ESTACION
MODO_FRIO = MODO_FRIO_ESTACION
BC_SURBAJA = FANCOIL_CALOR_SURBAJA*EQL(MODO_CALOR,1)+FANCOIL_FRIO_SURBAJA*EQL(MODO_FRIO,1)
BC_NORBAJA = FANCOIL_CALOR_NORBAJA*EQL(MODO_CALOR,1)+FANCOIL_FRIO_NORBAJA*EQL(MODO_FRIO,1)
BC_SURSUPERIOR = FANCOIL_CALOR_SURSUPERIOR*EQL(MODO_CALOR,1)+FANCOIL_FRIO_SURSUPERIOR*EQL(MODO_FRIO,1)
BC_NORSUPERIOR = FANCOIL_CALOR_NORSUPERIOR*EQL(MODO_CALOR,1)+FANCOIL_FRIO_NORSUPERIOR*EQL(MODO_FRIO,1)
```

Figura 4-41 Script funcionamiento bomba de calor

Una vez definidos todos los elementos para la simulación será necesario establecer las conexiones o uniones existentes entre todos ellos, para ello, cada type tiene una serie de inputs o entradas y de outputs o salidas, como ya se ha comentado en anteriores ocasiones. La unión de types se realiza como la unión de dos nodos, quedando de la siguiente manera:

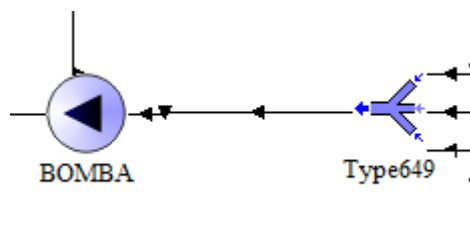


Figura 4-42 Ejemplo unión entre types

Una vez establecida la unión no se hará efectiva o funcional hasta que no definamos que salidas de un nodo corresponden con las entradas del otro. Para ello habrá que seleccionar la unión y definir coherentemente estas relaciones:

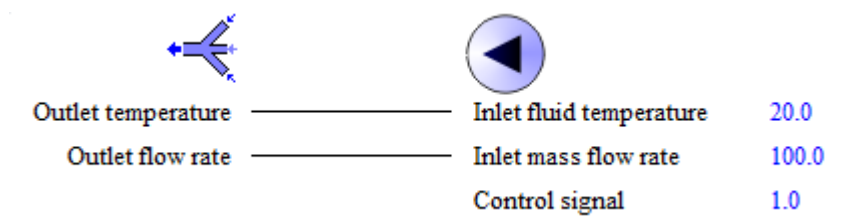


Figura 4-43 Ejemplo unión de inputs y outpus entre types

Existen una serie de types que vamos a utilizar ya que nos serán de ayuda a la hora de representar los resultados durante la simulación. Estos types se denominan “outputs” y no son más que salidas en las que determinaremos que información queremos conocer al realizar dicha simulación. Un ejemplo

de estos “outputs” es el “type65d”, que nos representará todos aquellos elementos que relacionemos con él a través de las uniones anteriormente descritas.

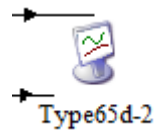


Figura 4-44 Icono type65d

Existen otros types que podremos utilizar en este caso para poder determinar el consumo de la bomba ya que realizará una suma de todo el trabajo de la bomba a lo largo de un período que determinemos y los integrará para presentarlo en pantalla Este type es el “type55”.

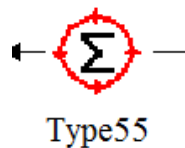


Figura 4-45 Icono type55

También emplearemos un type que nos generará con la simulación un archivo “.eso”, el cual podremos exportar a “Sketchup” y trabajar con él para ver las diferentes temperaturas de nuestro edificio pero en vez de en una gráfica, en nuestro propio modelo en 3 dimensiones. Este type es el “type125”.

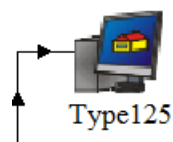


Figura 4-46 Icono type125

Una vez determinado todos los distintos elementos del sistema, sus parámetros, sus diferentes funciones y así como todas las características del edificio podremos empezar a simular y empezar a obtener todos los datos que necesitamos.

El sistema quedaría de la siguiente manera listo para empezar la simulación:

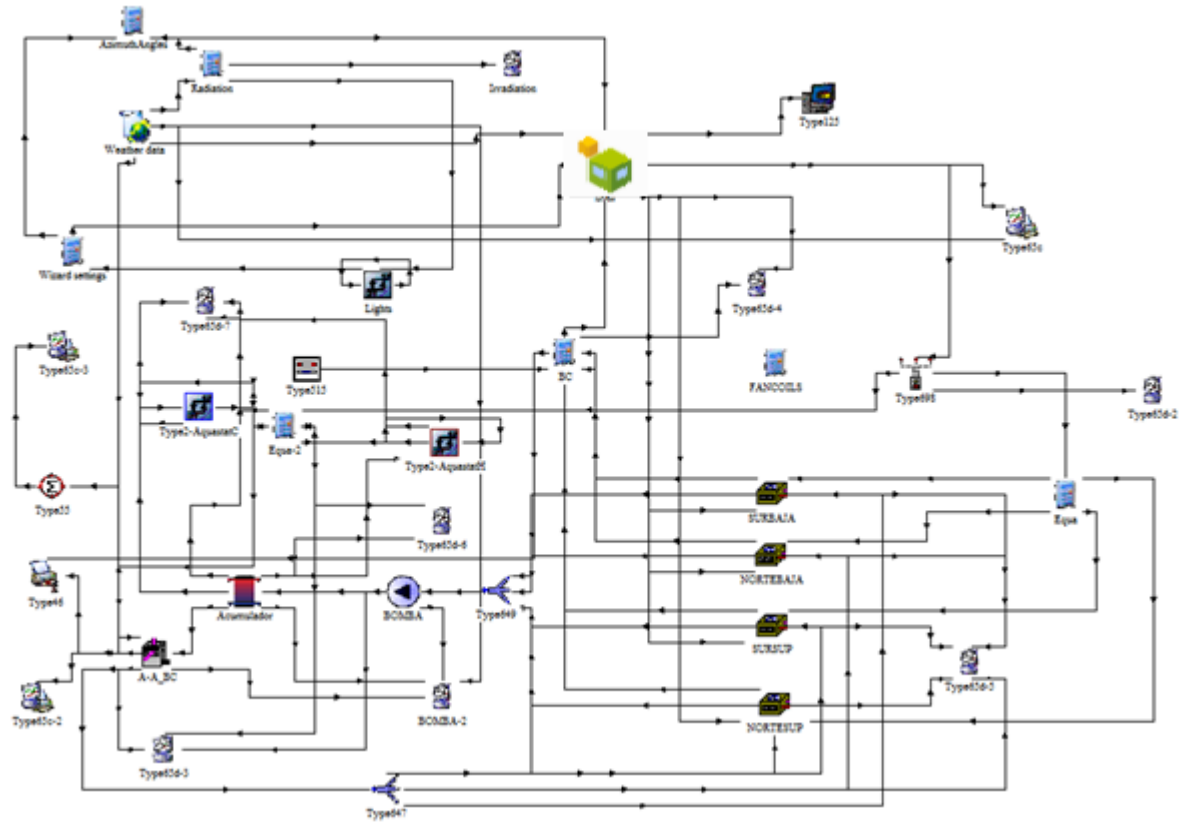


Figura 4-47 Sistema definitivo en trnsys

5 RESULTADOS / VALIDACIÓN / PRUEBA

5.1 Monitorización de los resultados

Tras introducir todos los datos necesarios de nuestro edificio y de nuestro sistema de climatización es necesario comprobar que se cumplen los parámetros que definen el buen comportamiento del sistema en la simulación.

Para poder realizar dicha comprobación es necesario llevar a cabo una monitorización de los diferentes elementos del circuito. A través de los datos obtenidos en la simulación podremos determinar si nuestro sistema funciona correctamente a partir de los datos teóricos y reales de los que dispone el edificio o si por el contrario, difiere de lo que se supone deberíamos obtener.

Para llevar un control de los resultados se decidió evaluar los resultados a través de diversos períodos de tiempo. Para ello, se empezó monitorizando el sistema a través de un año natural, para ir comprimiendo cada vez más los períodos de tiempo y evaluando los datos mes a mes.

También se hizo una evaluación por zonas térmicas, diferenciando entre ellas, ya que se pueden ver afectadas de diferente manera debido a sus diferentes situaciones. Para tener un control y conocimiento total del buen funcionamiento del sistema es necesario monitorizar las temperaturas de cada zona térmica para poder comprobar que la temperatura en su interior se mantiene climatizada dentro de los parámetros preestablecidos anteriormente independientemente de la temperatura del aire exterior.

Es necesario también visualizar el funcionamiento de la bomba de calor y de los diversos fancoils para corroborar que funcionan cuando cada zona térmica lo requiere. Además monitorizaremos los diversos consumos de la bomba de calor a lo largo de los diferentes meses del año para comprobar que sigue la misma tendencia, ya que el dato real del que disponemos es el consumo eléctrico total del edificio, por lo que no se puede saber con precisión el consumo concreto de la bomba ya que no se dispone de datos históricos de la misma.

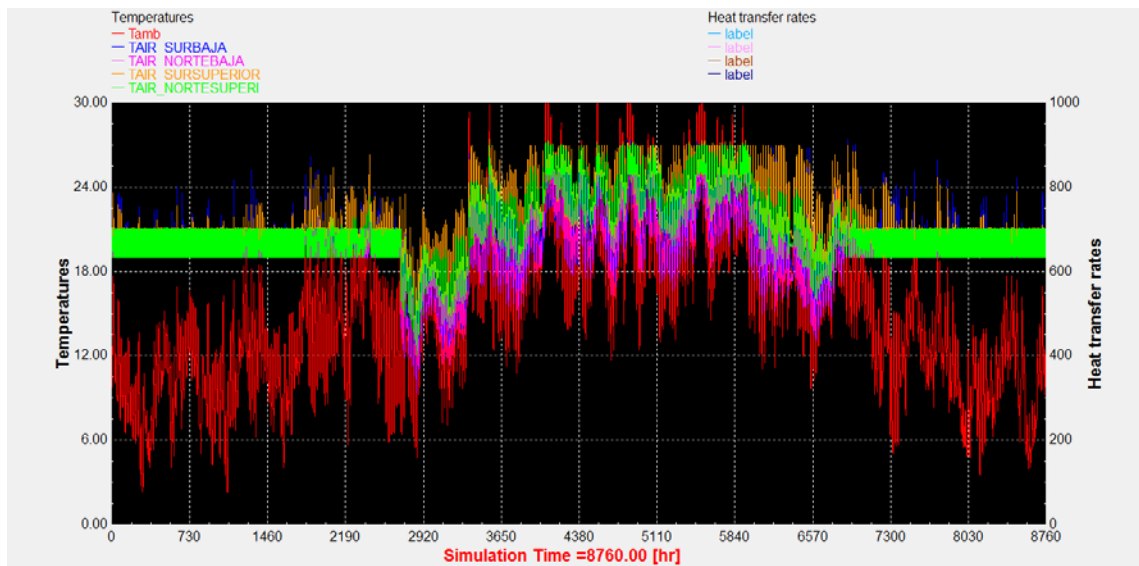


Figura 5-1 Temperaturas zonas año completo

En la anterior imagen se observa la temperatura de las diferentes zonas térmicas a lo largo de un año. Se puede observar como durante los meses de invierno la temperatura no varía en función de la temperatura del aire exterior (línea roja) sino que se mantiene climatizada rondando siempre los 20° C.

Se observa como durante los meses de verano la temperatura ambiente alcanza altas temperaturas pero al haber fijado la temperatura de consigna en 26° C, la temperatura de las zonas no alcanza un valor mayor en el interior, aunque si alcanza valores más bajos ya que no hemos puesto un límite inferior. Se puede observar que los títulos de los ejes verticales no corresponden con los datos que expresa la gráfica, esto no tiene más trascendencia ya que son predeterminados por el programa.

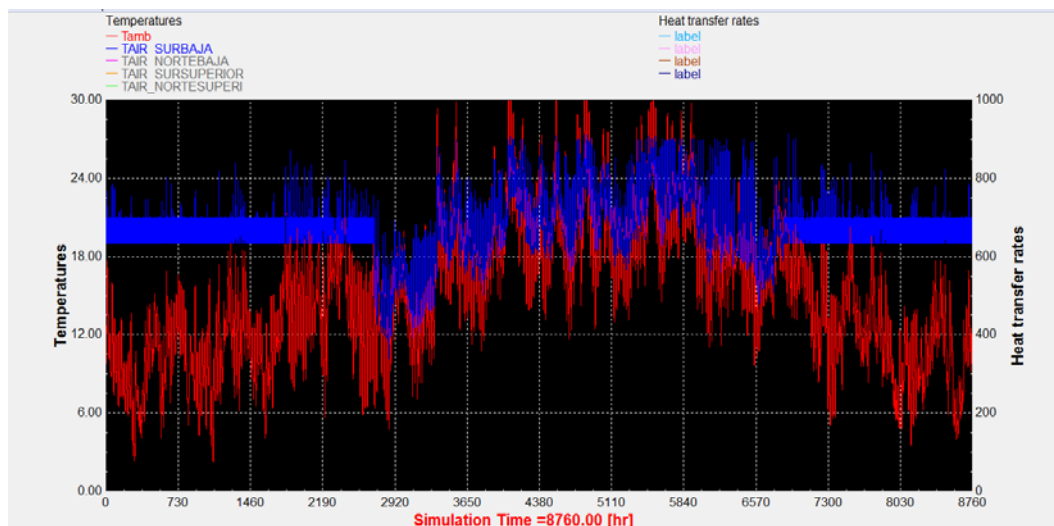


Figura 5-2 Temperatura zona Sur Baja año completo

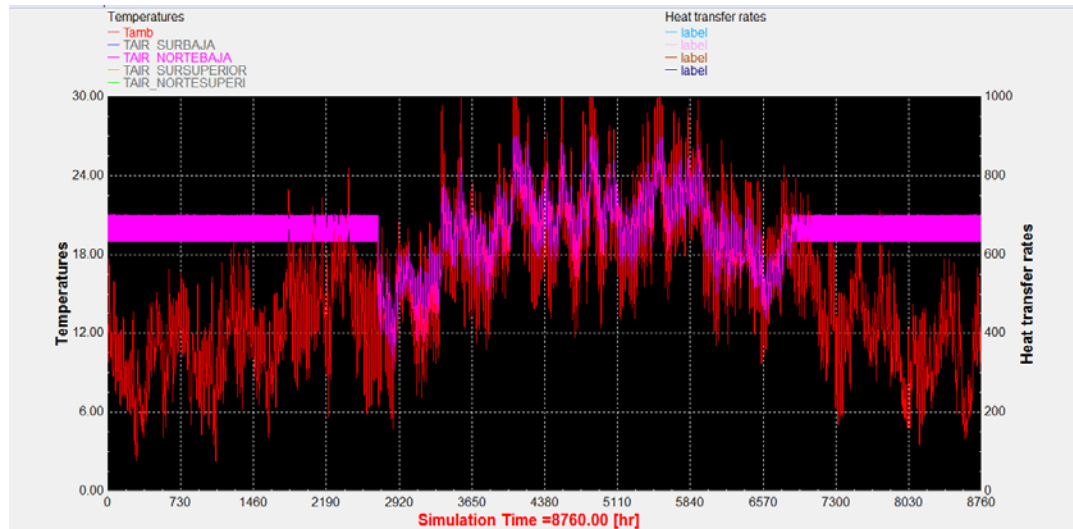


Figura 5-3 Temperatura zona Norte Baja año completo

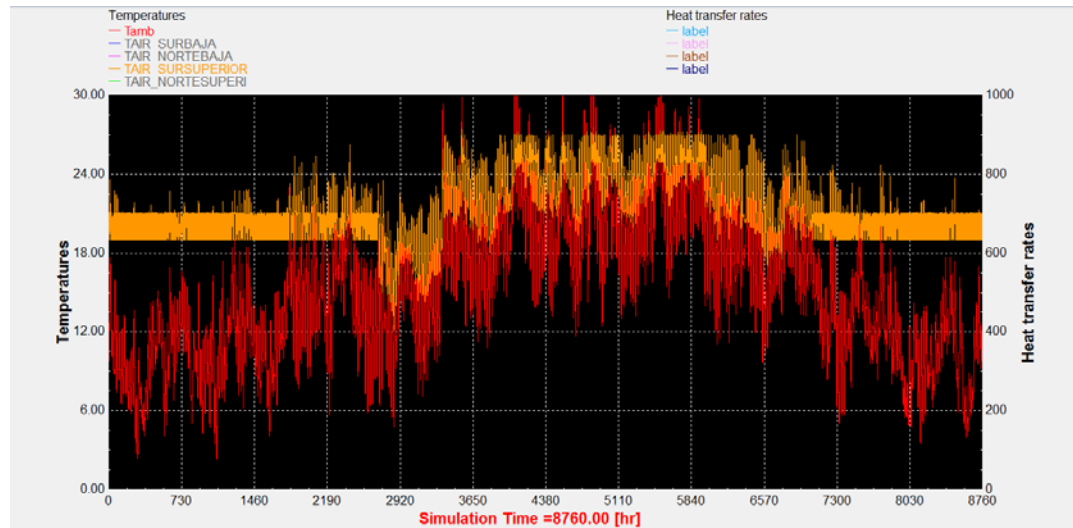


Figura 5-4 Temperatura zona Sur Superior año completo

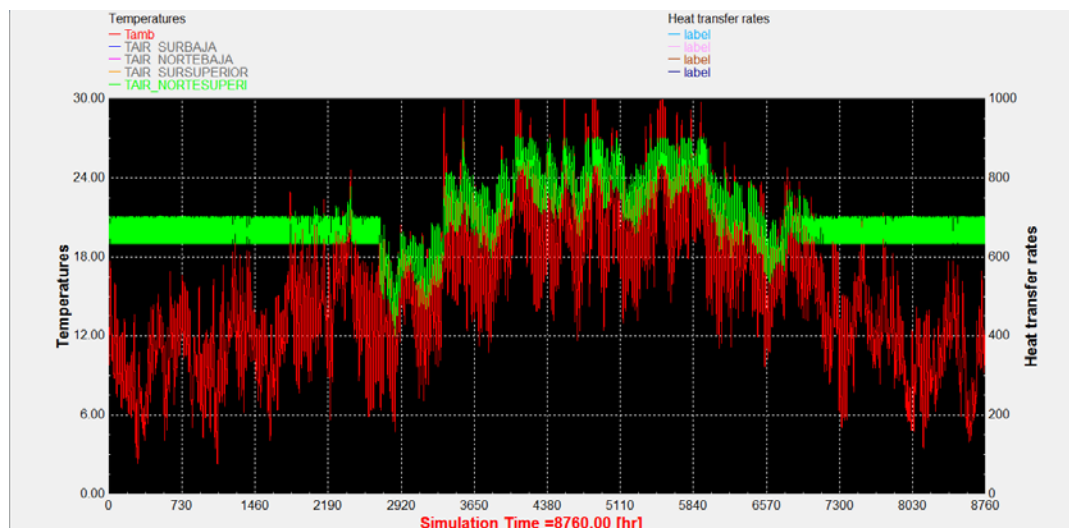


Figura 5-5 Temperatura zona Norte Superior año completo

Se observa para las diferentes zonas térmicas que afirmativamente, la climatización funciona dentro de los parámetros establecidos. Se cumple pues que durante todo el año tenemos una temperatura en los locales climatizada acorde a las temperaturas de consigna que definimos en el modelo. Se observa también que son las zonas Sur, tanto la planta baja como la superior las que sufren más picos de temperatura. Esto es debido a que las zonas Sur están cara al Sol, por lo que la radiación directa de los rayos solares hará que alcancen mayores temperaturas, obligando a trabajar a la bomba de calor más en estas zonas.

Podemos ver a través de la siguiente imagen como funciona la bomba de calor a lo largo del año en las diferentes zonas. Vemos como en los meses de invierno la bomba de calor trabaja en positivo introduciendo calor en las zonas, manteniendo la temperatura en 20° C, mientras observamos cómo durante los meses de verano el valor del trabajo de la bomba es negativo ya que realiza el efecto contrario que es enfriar el aire de las zonas para mantenerlo nunca más alto de los 26° C. Como se comentó anteriormente, vemos que los fancoils de las zonas Sur demandan más energía que las zonas Norte.

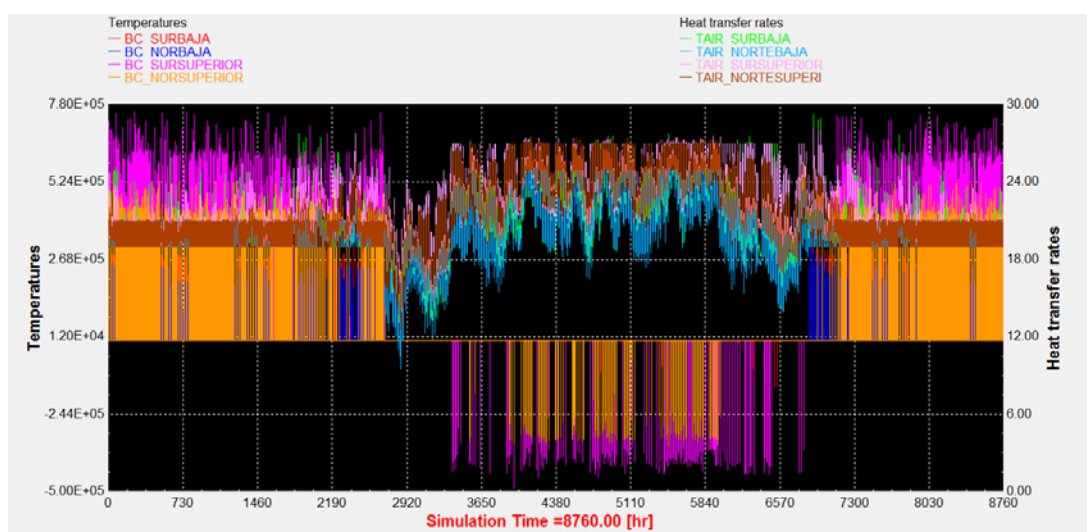


Figura 5-6 Trabajo bomba de calor año completo

A continuación veremos cómo funciona la bomba para las diversas zonas térmicas, primero para las zonas Sur y Norte baja, y luego Sur y Norte superior:

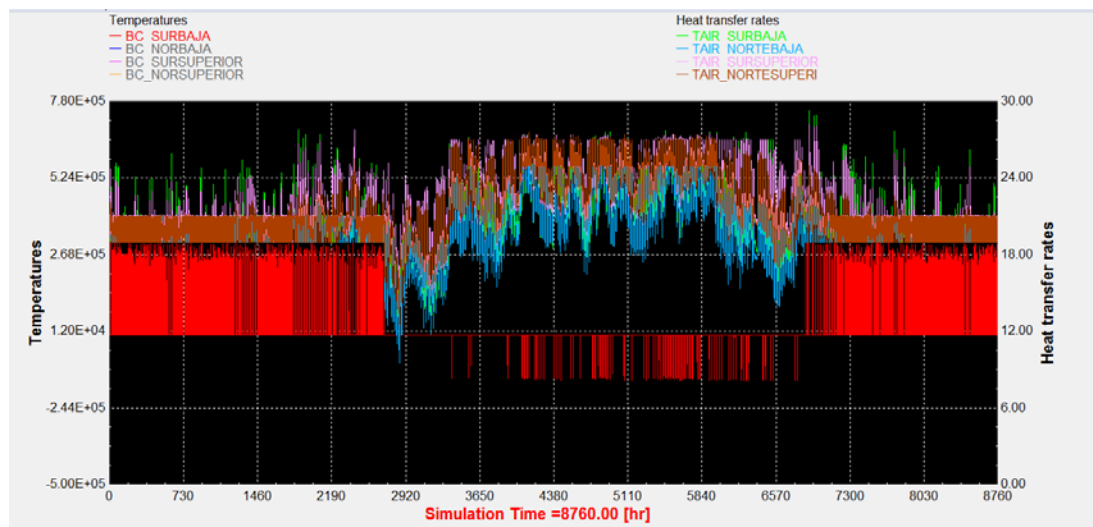


Figura 5-7 Trabajo bomba de calor zona Sur Baja año completo

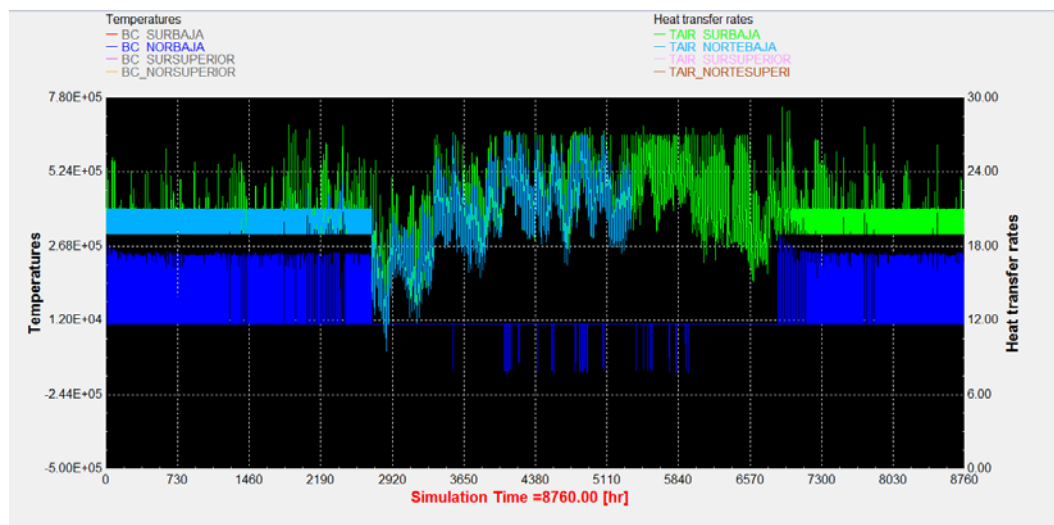


Figura 5-8 Trabajo bomba de calor zona Norte Baja año completo

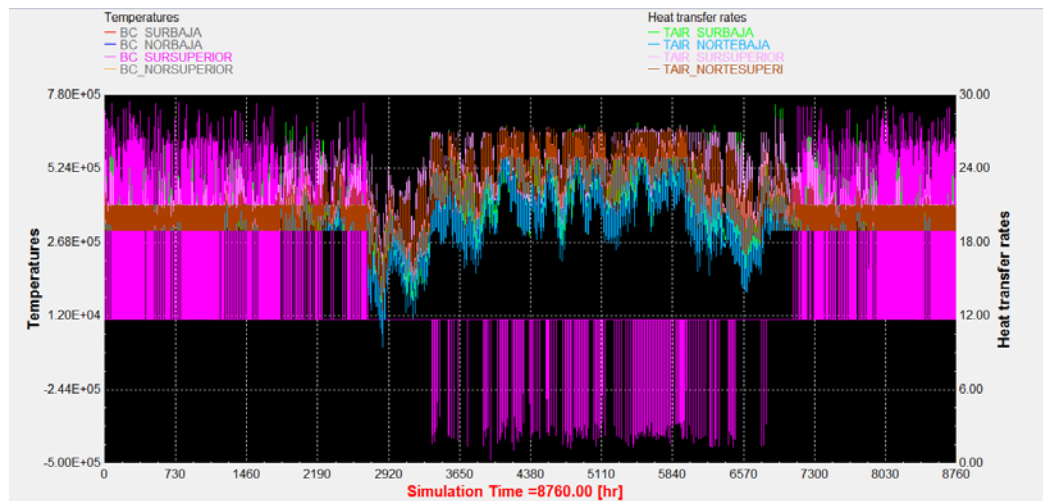


Figura 5-9 Trabajo bomba de calor zona Sur Superior año completo

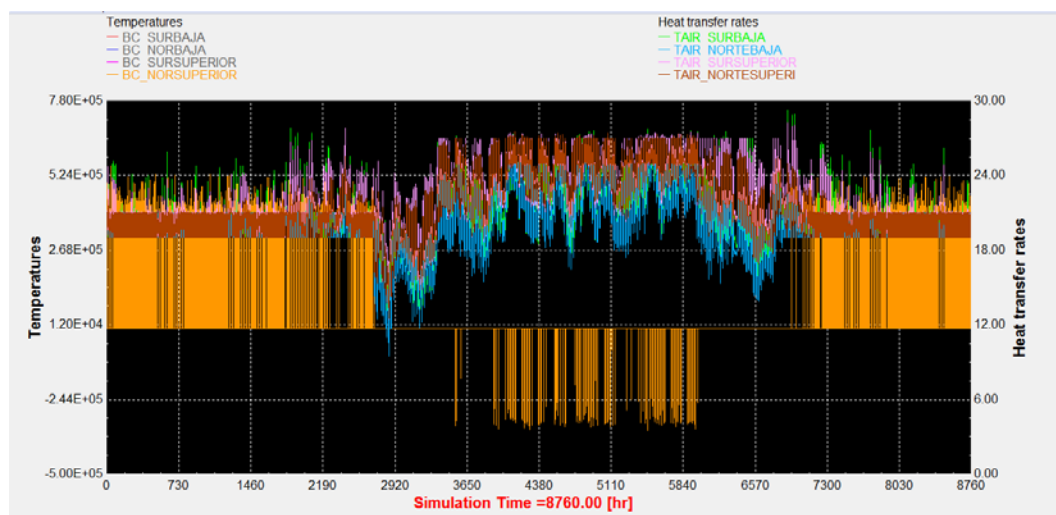


Figura 5-10 Trabajo bomba de calor zona Norte Superior año completo

Se observa como efectivamente, es fácilmente apreciable que la bomba de calor trabaja más en las zonas superiores que en las inferiores y a su vez más en las zonas Sur que en las Norte. Se puede determinar que los picos de potencia observados en las zonas Sur pueden estar causados por el hecho de que existen diferentes tipos de fancoils dependiendo de las zonas, ya que no tiene demasiado sentido que las zonas Sur demanden más calor que las Norte ya que reciben más calor por parte de la radiación solar.

En la siguiente imagen está representado el consumo de la bomba a lo largo del año. Cada pico representa un mes del año. Como se puede apreciar en las anteriores imágenes, el consumo durante el invierno es mucho mayor que durante los meses de verano o calor. La proximidad del edificio al mar hace que las temperaturas en general durante el verano sean más suaves por lo que no sea tan necesario reducir la temperatura de las diferentes zonas. Sin embargo, durante el invierno sí que se reducen mucho las temperaturas en esta zona, por lo que el edificio demandará más trabajo por parte de la bomba de calor para mantener estable su temperatura. Más adelante verificaremos si esta tendencia que sufre el consumo de la bomba en la simulación guarda relación con la tendencia del consumo eléctrico total del edificio.

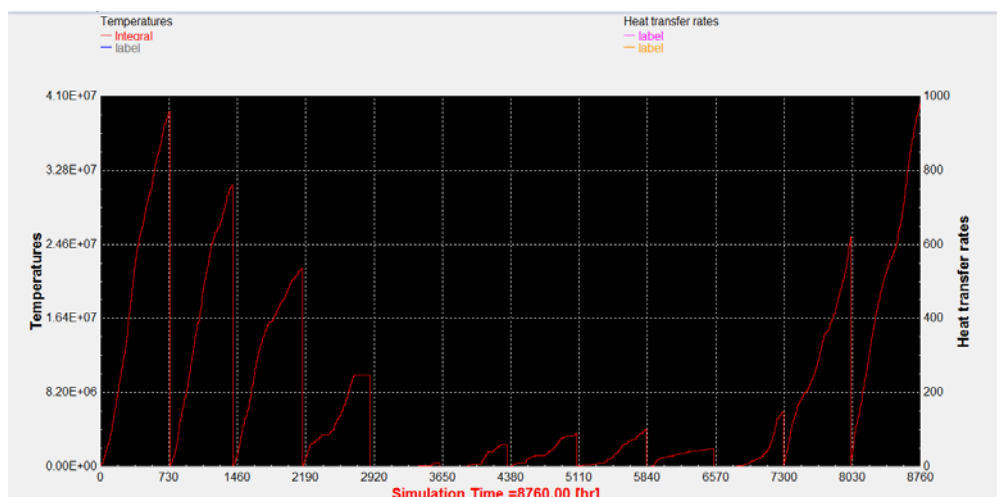


Figura 5-11 Consumo bomba de calor año completo

Para concretar los resultados y ver su evolución veremos a continuación cómo se comportan las diferentes zonas separando la monitorización durante los doce meses del año. El objetivo principal es ir poco a poco definiendo los resultados finales del estudio. Vamos a comprobar que se cumple lo que hemos observado para el año entero, que no es más que las temperaturas de consigna que hemos prestablecido en 20° C y 26° C se cumplen dependiendo del período de invierno o verano y que las variaciones o picos más grandes de temperatura se producen en las zonas Sur por delante de las Norte y en las superiores antes de en las bajas, produciendo que el trabajo de la bomba sea mayor en esas zonas.

Como se vio anteriormente, el primer mes del año, enero, se comprueba que aunque la temperatura ambiente sea baja, por debajo de los 10° C de media, la temperatura sigue estable en el edificio. Tan solo se aprecia algún pico por encima debido a cambios bruscos de temperatura, que pueden ser debidos a días soleados donde las zonas Sur principalmente se calientan por encima de la temperatura de consigna.

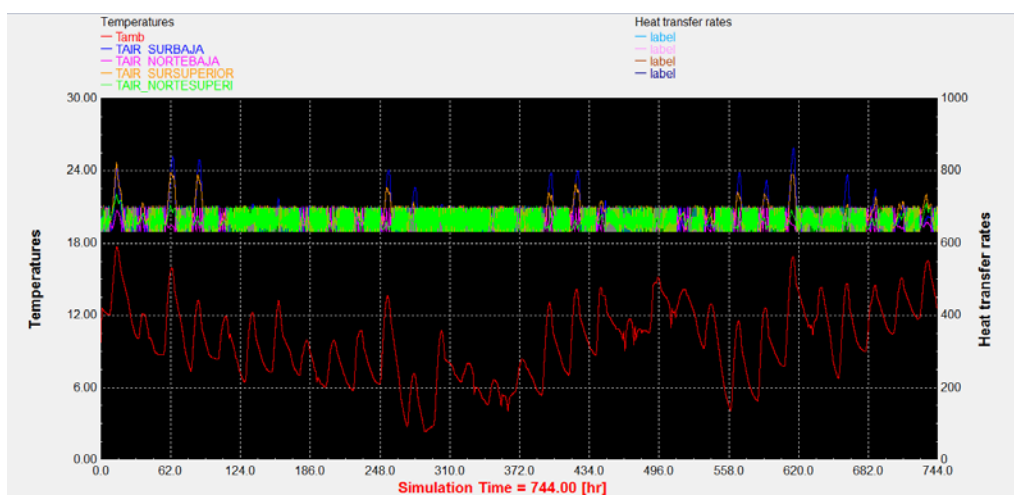


Figura 5-12 Temperaturas zonas enero

En lo que respecta al trabajo de la bomba se ve como el trabajo en la zona Sur es mayor que en la Norte, y que es mayor en las zonas superiores que en las inferiores. Se puede observar como cuando la

temperatura de las zonas excede los 20° C debido al aumento de la temperatura exterior, la bomba de calor deja de trabajar ya que su función es calentar no enfriar hasta dicha temperatura.

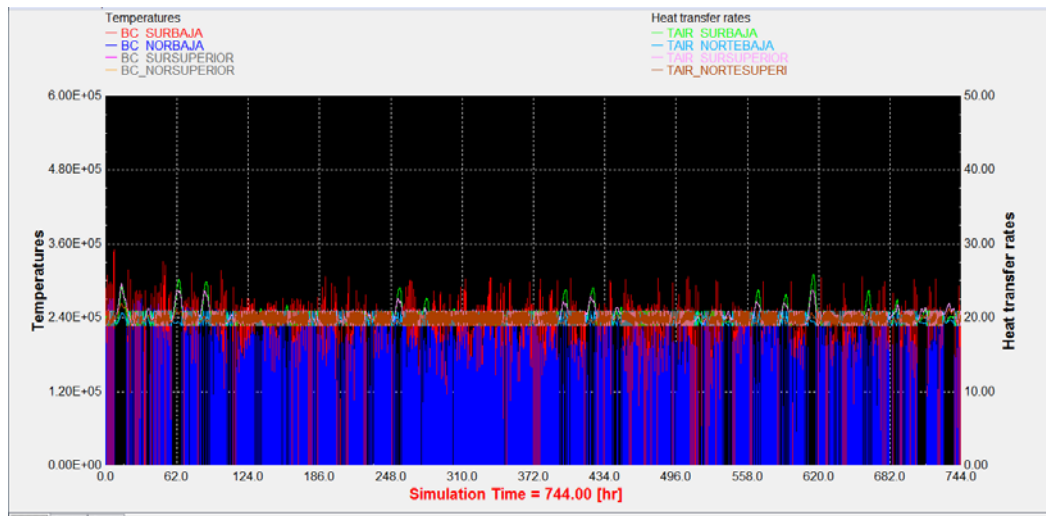


Figura 5-13 Trabajo bomba de calor zonas Baja enero

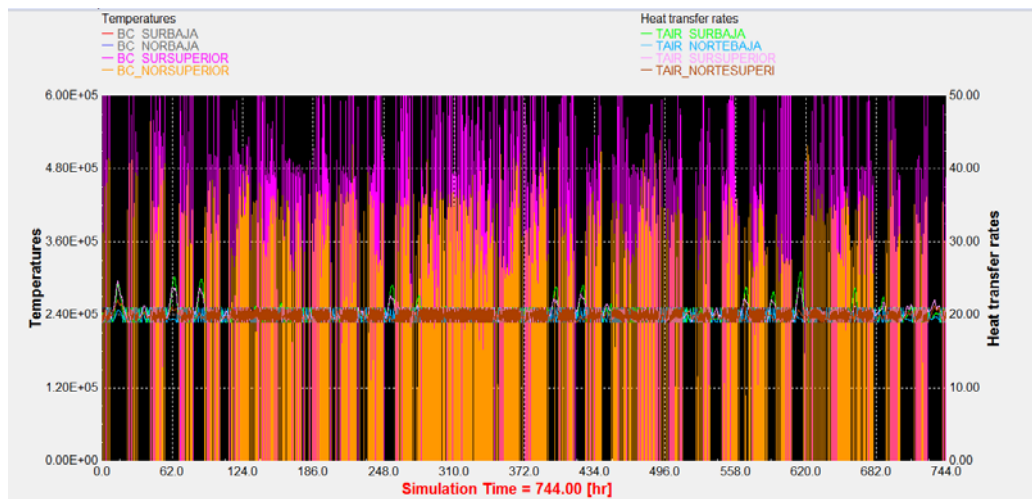


Figura 5-14 Trabajo bomba de calor zonas Superiores enero

Podemos ver en la siguiente imagen de una manera más clara el consumo a lo largo del mes de enero.

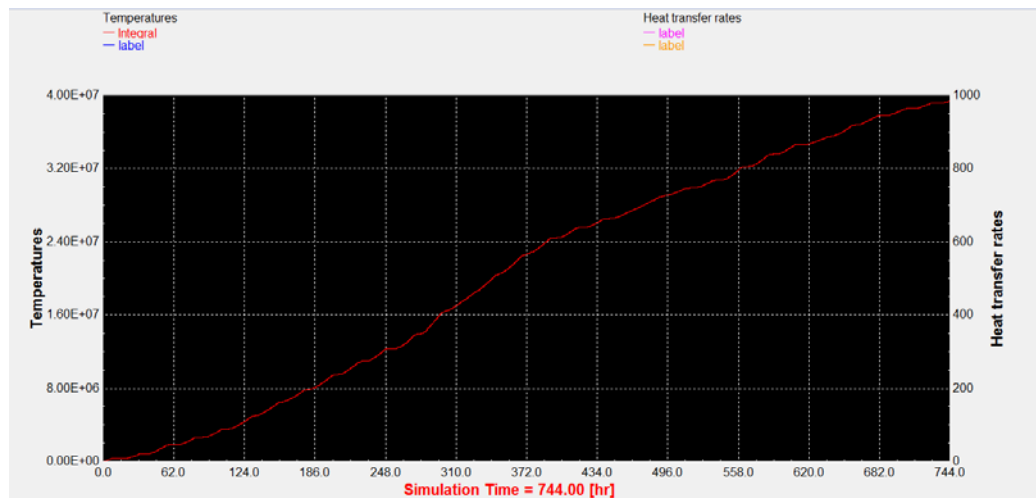


Figura 5-15 Consumo bomba de calor enero

Durante el mes de febrero los datos obtenidos son prácticamente iguales a los del mes de enero, únicamente se aprecia que al final del mes se produce un ligero aumento de la temperatura ambiente, lo que va a propiciar que los picos de temperatura momentáneos sean mayores. Además al aumentar la temperatura ambiente, la bomba de calor tendrá que trabajar menos para mantener la temperatura de consigna en 20° C ya que la temperatura exterior se acerca más a este valor, el salto térmico es menor y consecuentemente las pérdidas de calor a través de la envolvente se reducen. Este hecho se va a ver sobre todo reflejado no solo este mes si no los próximos también, en el descenso en el consumo de la bomba.

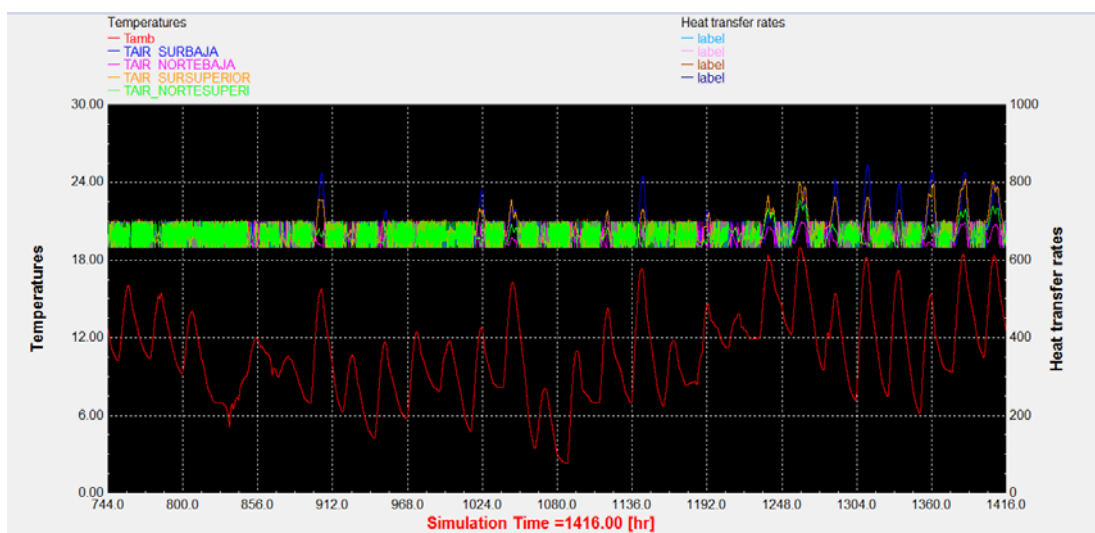


Figura 5-16 Temperatura zonas febrero

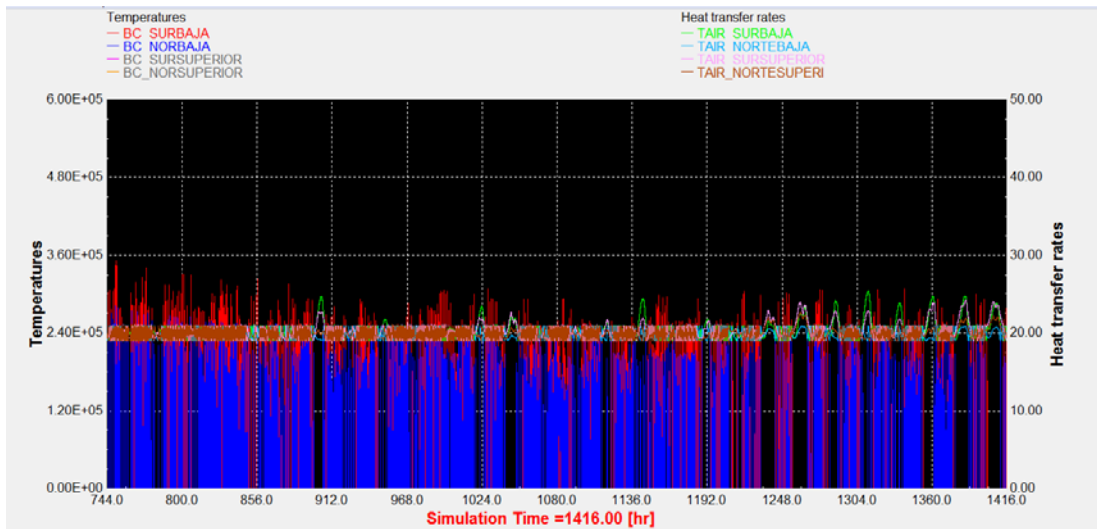


Figura 5-17 Trabajo bomba de calor zonas Baja febrero

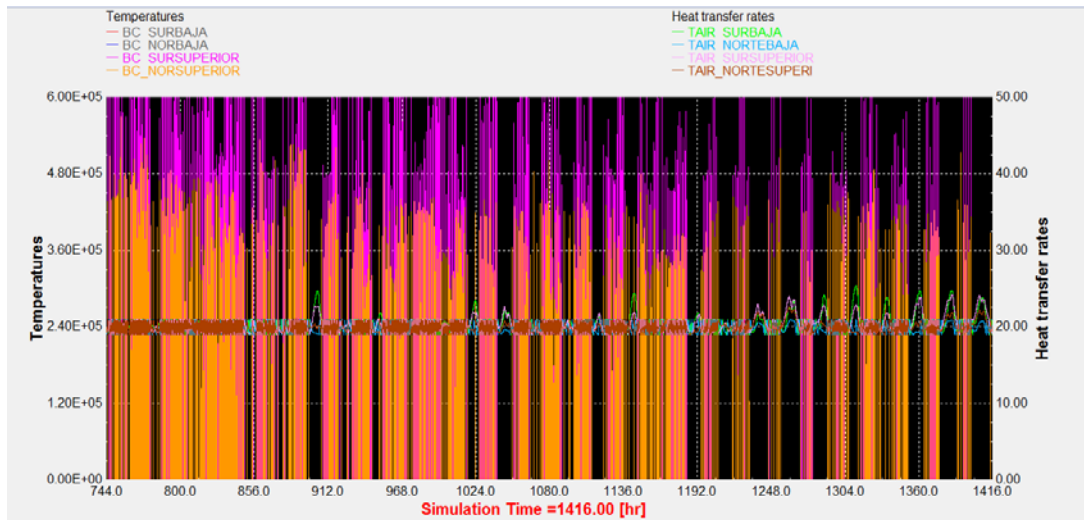


Figura 5-18 Trabajo bomba de calor zonas Superiores febrero

Se puede apreciar en las imágenes anteriores como hay un ligero descenso del trabajo de la bomba.

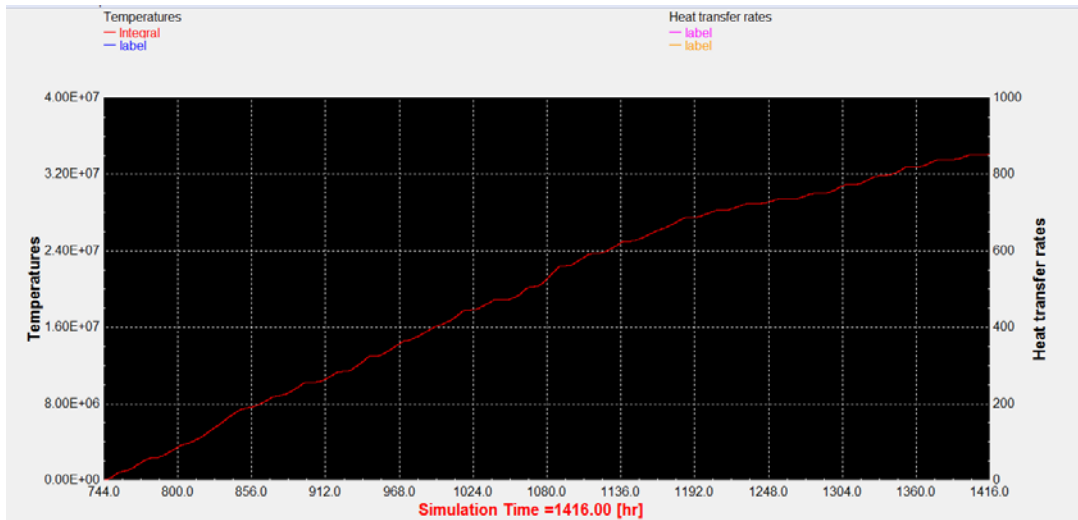


Figura 5-19 Consumo bomba de calor febrero

Al igual que en el mes anterior, la temperatura ambiente cada vez es mayor por lo que la tendencia a producirse un menor trabajo por parte de la bomba es evidente. Se aprecia que los picos más altos de trabajo de la bomba coinciden con los descensos bruscos de temperatura, esto se debe a que la temperatura en el exterior es normalmente estable y al producirse una variación alta de dicha temperatura, la bomba tiene que trabajar para compensar este cambio.

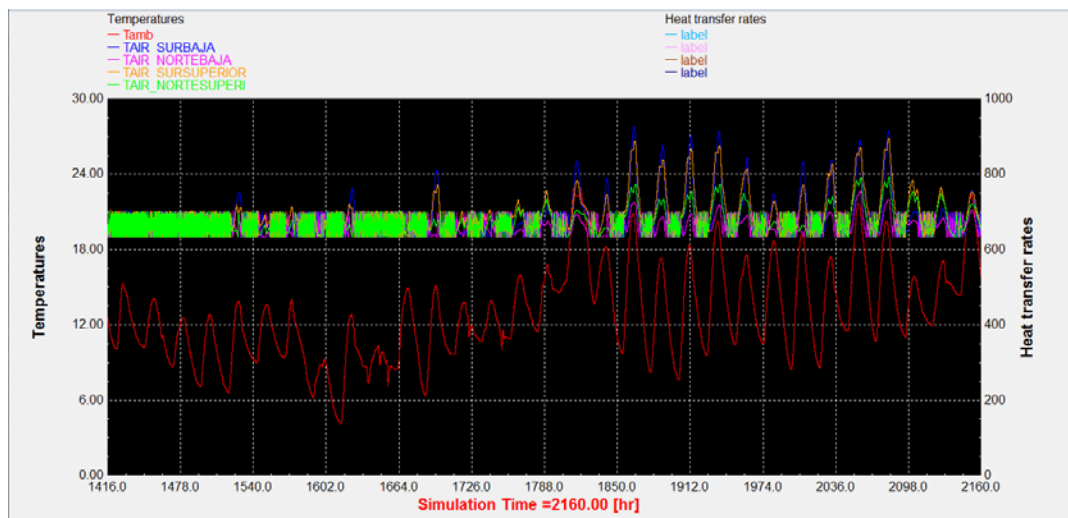


Figura 5-20 Temperatura zonas marzo

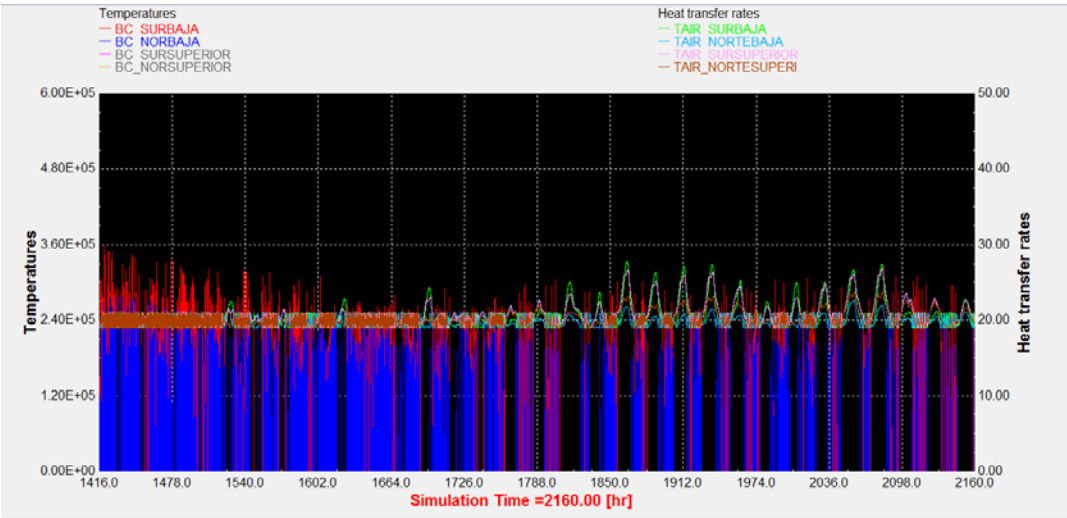


Figura 5-21 Trabajo bomba de calor zonas Bajas marzo

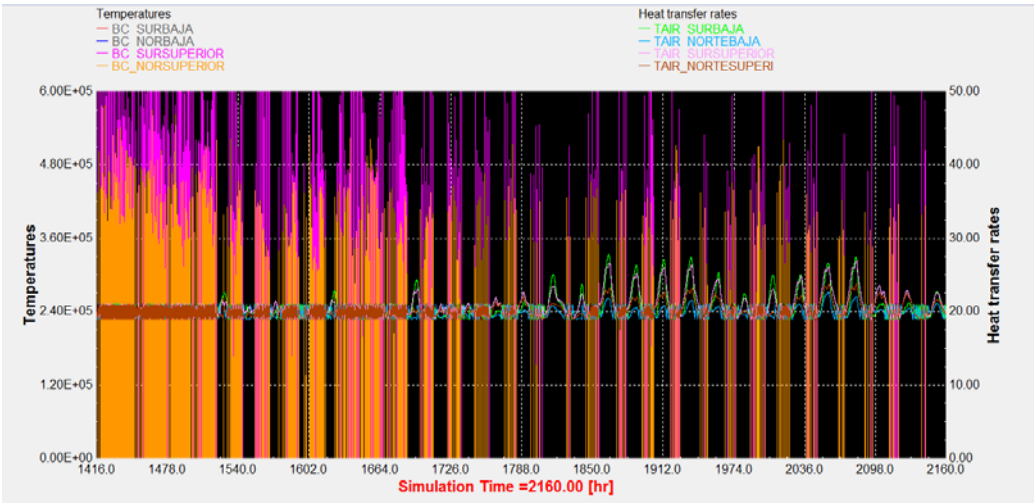


Figura 5-22 Trabajo bomba de calor zonas Superiores marzo

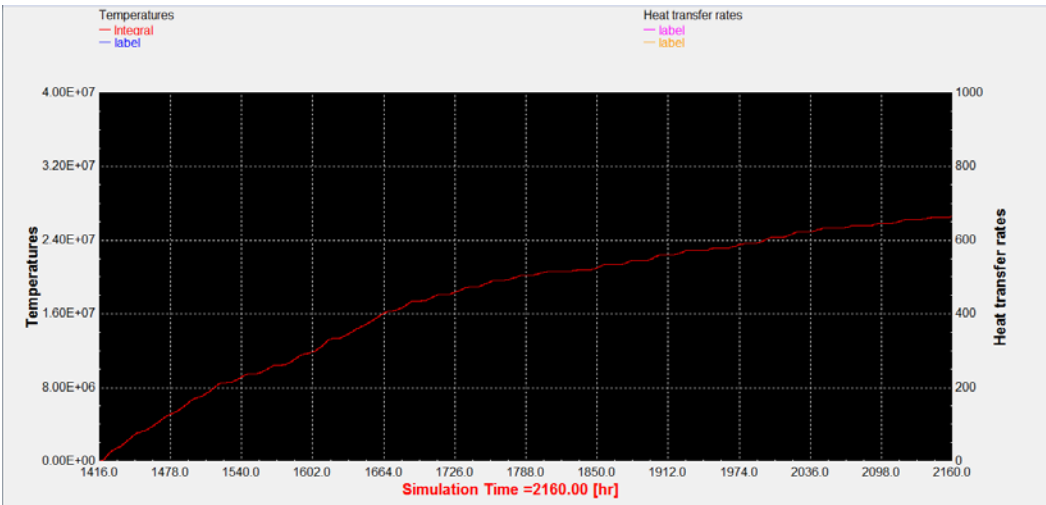


Figura 5-23 Consumo bomba de calor marzo

Durante el mes de abril es donde se produce el primer hecho relevante. Como establecimos en el “type515”, durante este mes cambia el modelo de la estación de invierno a la de verano. Cuando este cambio se produce, la función de la bomba pasa a ser la de tratar de mantener la temperatura de los locales no más alta de la temperatura que hemos fijado para esta estación, que como ya hemos dicho es de 26° C.

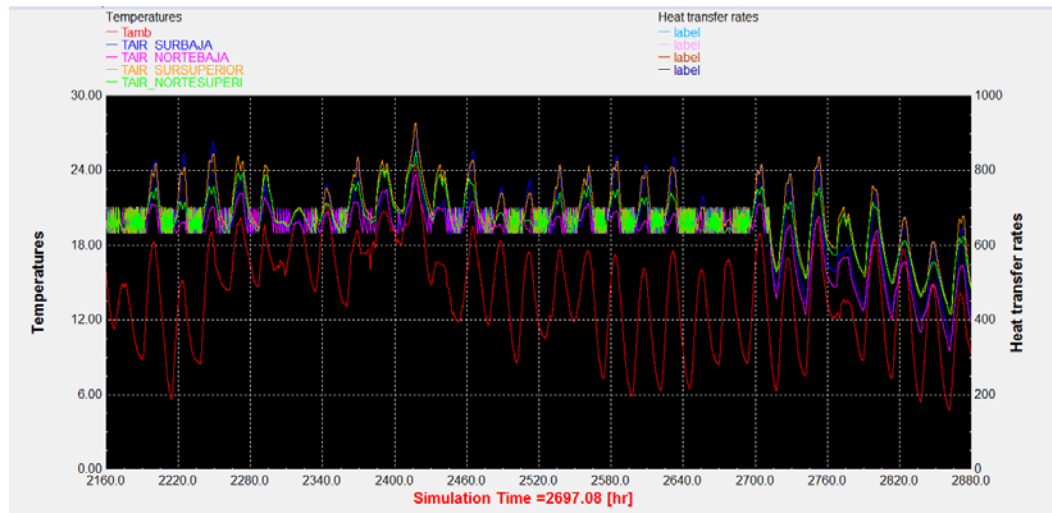


Figura 5-24 Temperatura zonas abril

Al producirse le cambio de estación la temperatura ambiente tampoco es tan alta como para obligar a trabajar a la bomba en modo de enfriamiento por lo que durante este período no habrá trabajo de la bomba, ya que no se requiere.

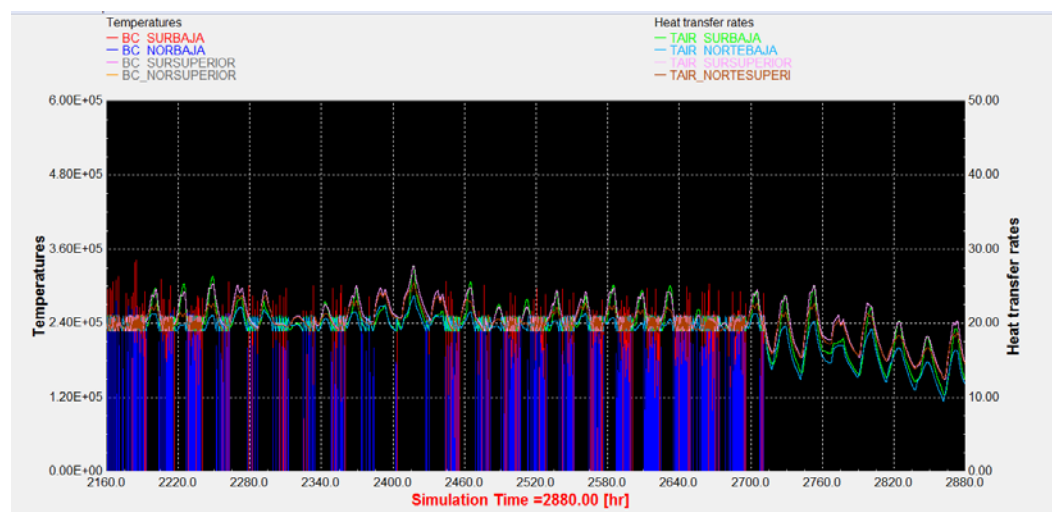


Figura 5-25 Trabajo bomba de calor zonas Bajas abril

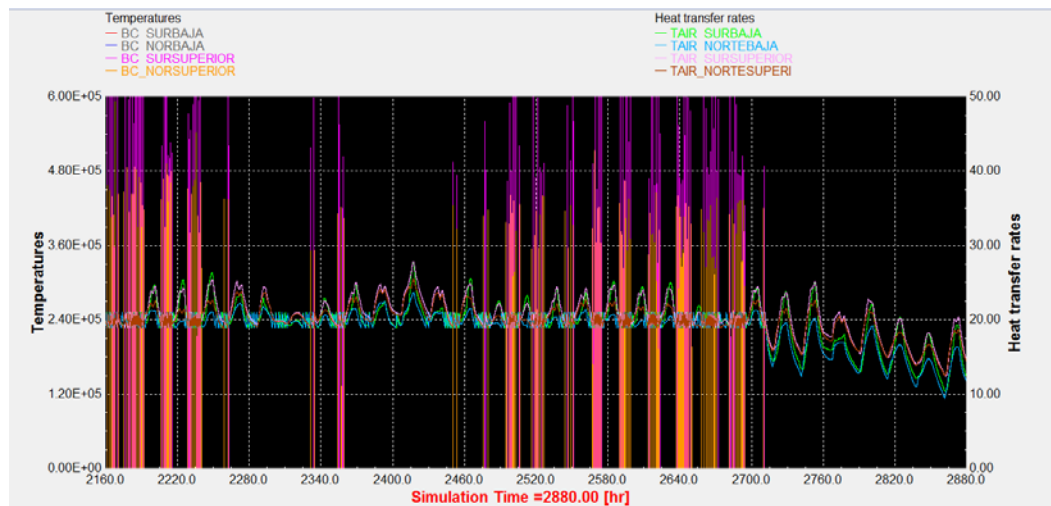


Figura 5-26 Trabajo bomba de calor zonas Superiores abril

Se observa en la imagen siguiente que se estabiliza el consumo del mes justo en el momento del cambio de estación ya que no hay trabajo de la bomba ni para enfriar ni para calentar.

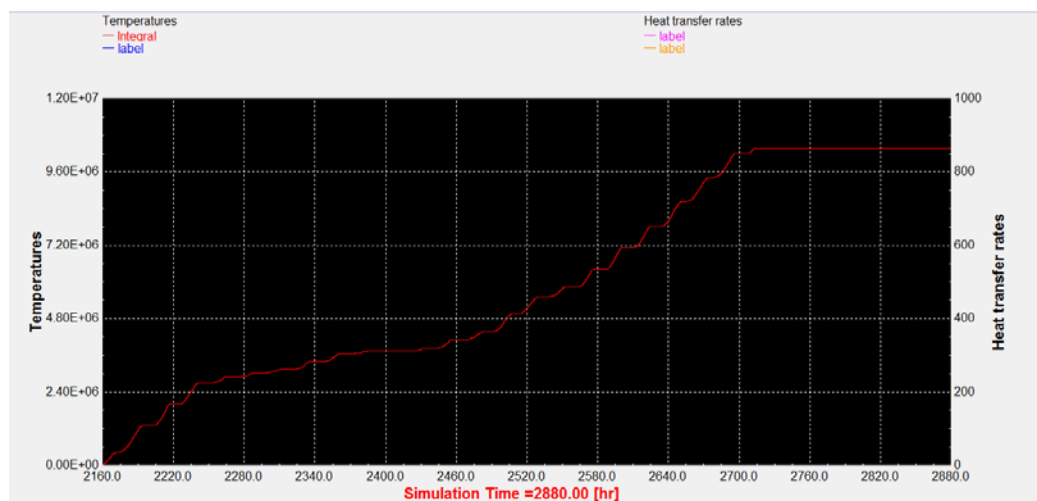


Figura 5-27 Consumo bomba de calor abril

Durante el mes de mayo la temperatura se mantendrá siempre por debajo de la temperatura de consigna excepto al final del mes, momento en el que podemos observar en la siguiente imagen como ciertos picos de temperatura van a superar esos 26° C.

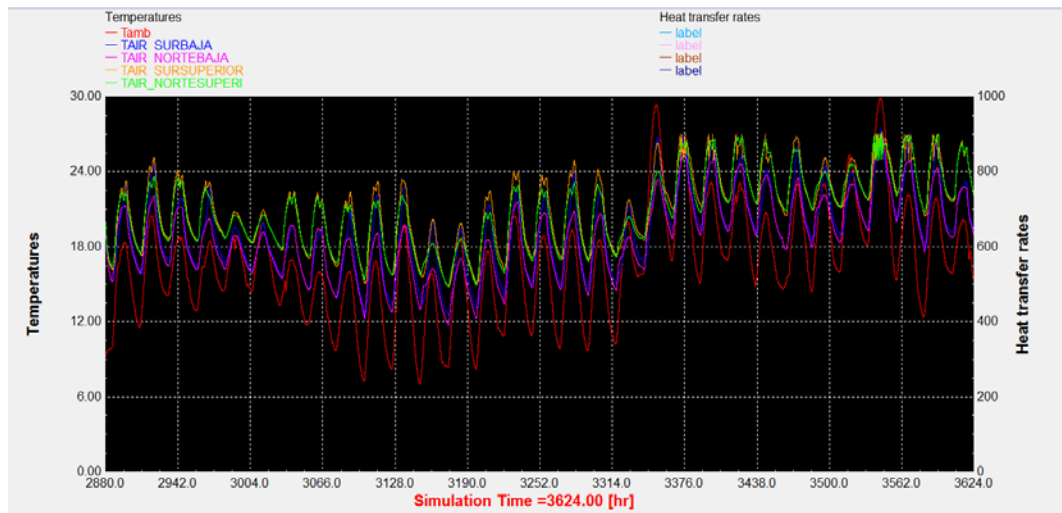


Figura 5-28 Temperatura zonas mayo

En las siguientes imágenes podemos observar como al trabajar en modo enfriamiento, el trabajo de la bomba se representa en negativo. Vemos que aunque poco, la bomba ya trabaja para enfriar los locales y además observamos cómo se cumple lo mismo que ocurría los meses anteriores con respecto a las zonas en las que la bomba trabaja más. Durante el verano esta diferencia va a ser si cabe mayor debido a la estratificación del calor de las zonas bajas a las superiores y a que como ya se dijo, las zonas Sur se ven afectadas por la radiación solar, hecho que se intensifica obviamente durante los meses de verano.

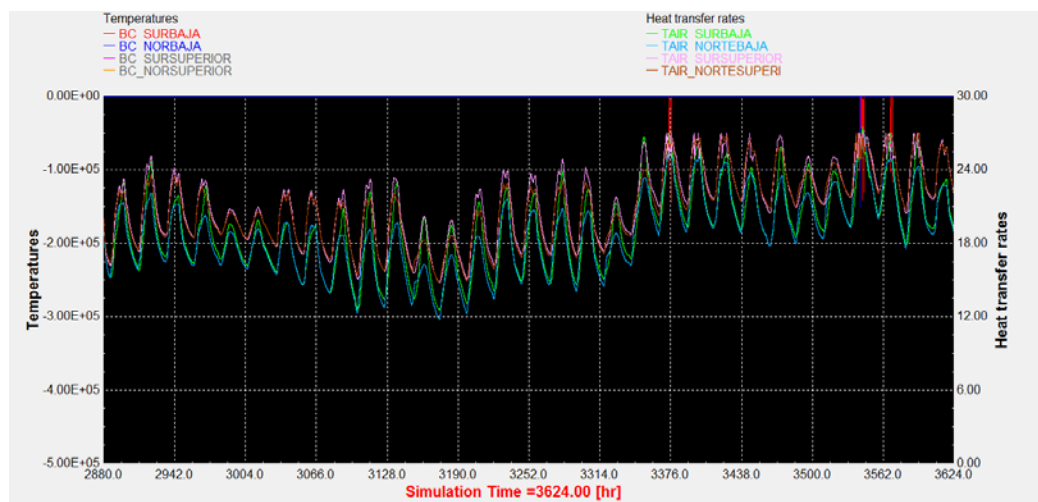


Figura 5-29 Trabajo bomba de calor zonas Bajas mayo

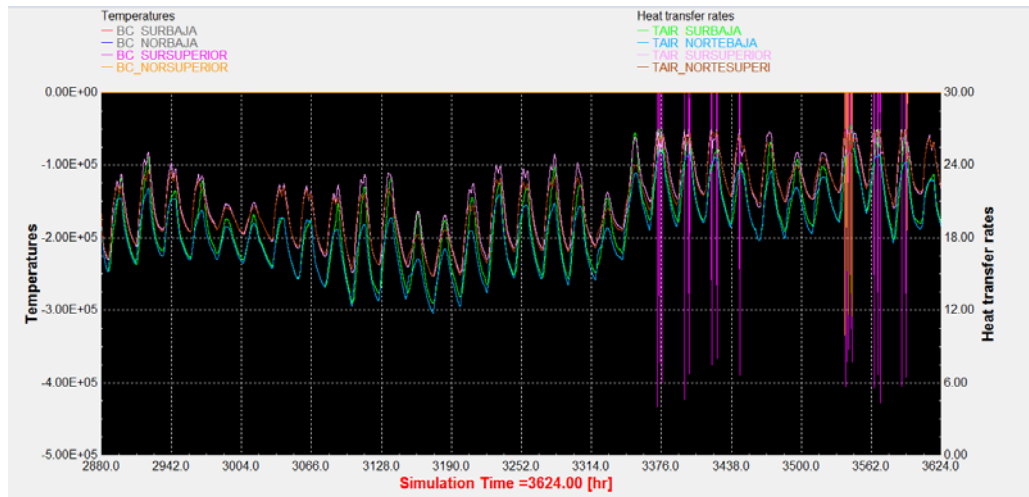


Figura 5-30 Trabajo bomba de calor zonas Superiores mayo

Observamos en el consumo de la bomba como se produce de nuevo el trabajo de esta.

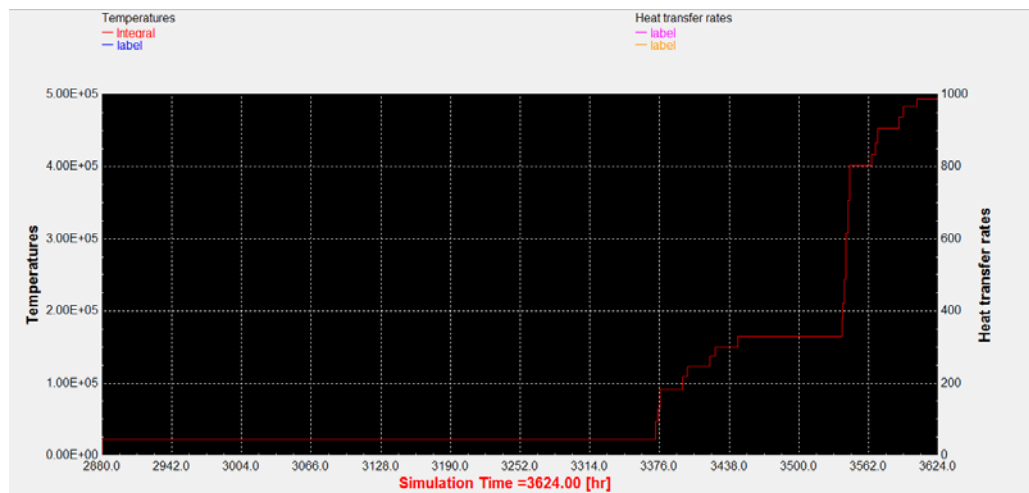


Figura 5-31 Consumo bomba de calor mayo

Para el mes de junio la única diferencia con el mes anterior es que como es obvio, se produce un aumento progresivo de la temperatura ambiente, por lo que la bomba va a trabajar para enfriar las zonas más que durante el mes de mayo.

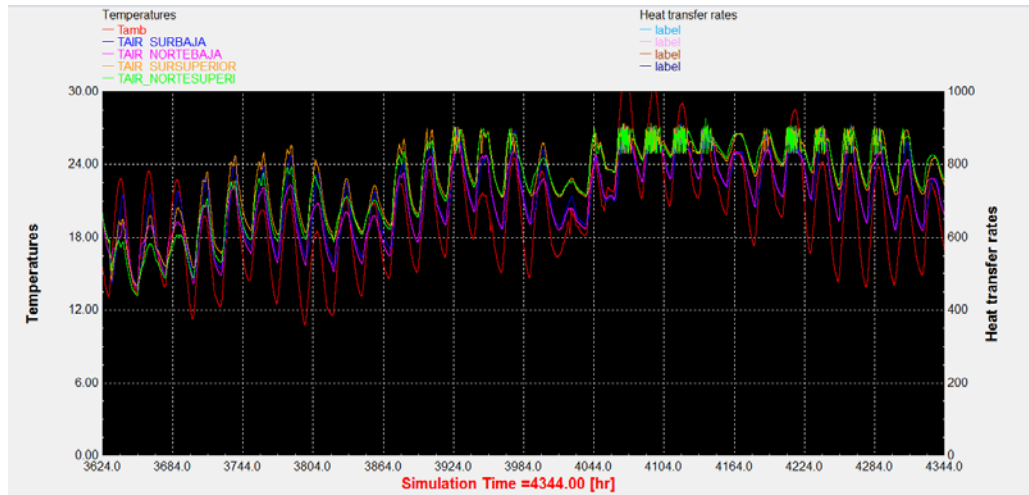


Figura 5-32 Temperatura zonas junio

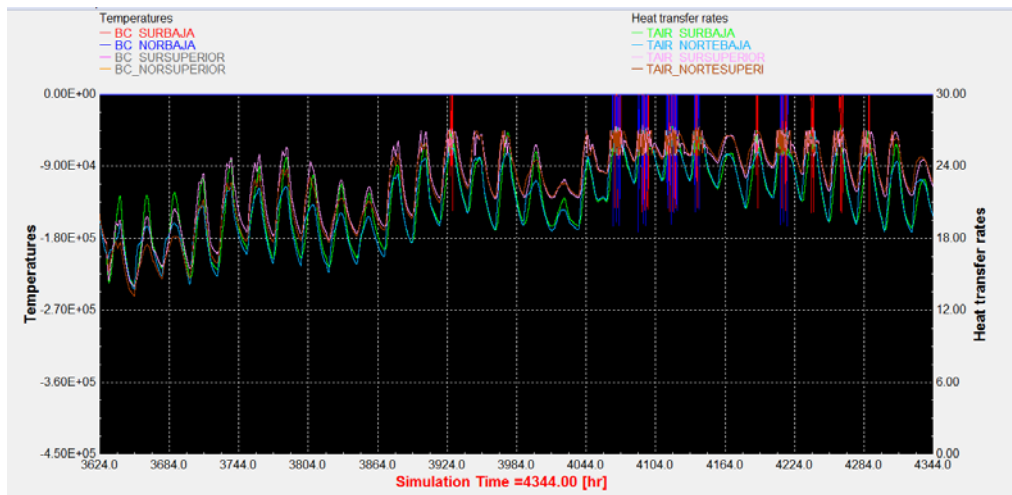


Figura 5-33 Trabajo bomba de calor zonas Bajas junio

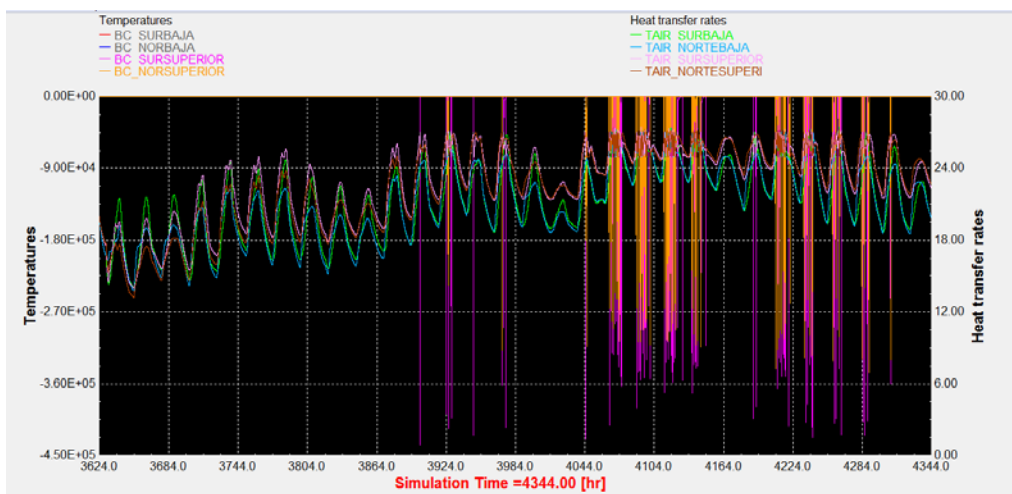


Figura 5-34 Trabajo bomba de calor zonas Superiores junio

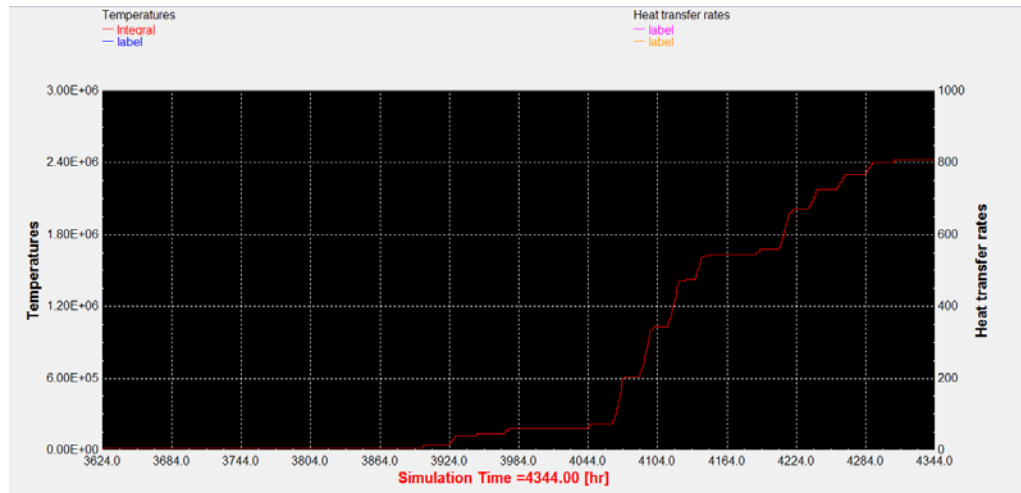


Figura 5-35 Consumo bomba de calor junio

Para el mes de julio vemos que el aumento de las temperaturas es mayor y se produce de una forma más estable que anteriormente. La bomba va a trabajar prácticamente durante más de la mitad de los períodos de luz del mes, ya que el descenso de la temperatura exterior durante la noche hace que la bomba no sea requerida.

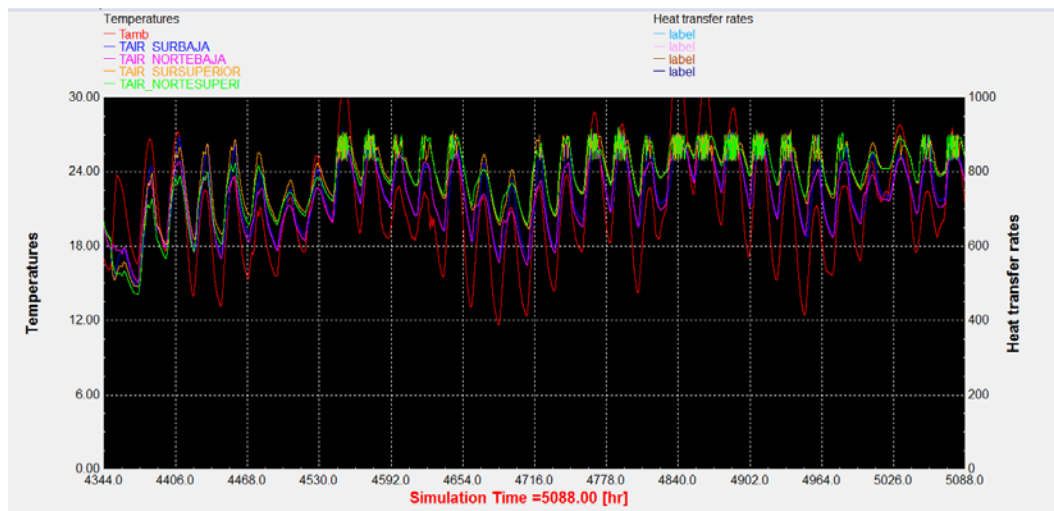


Figura 5-36 Temperatura zonas julio

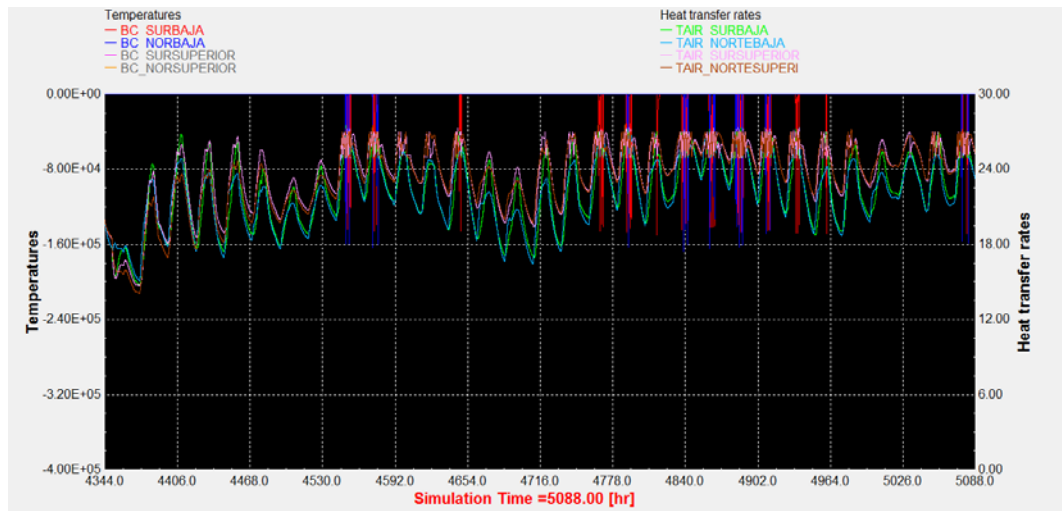


Figura 5-37 Trabajo bomba de calor zonas bajas julio

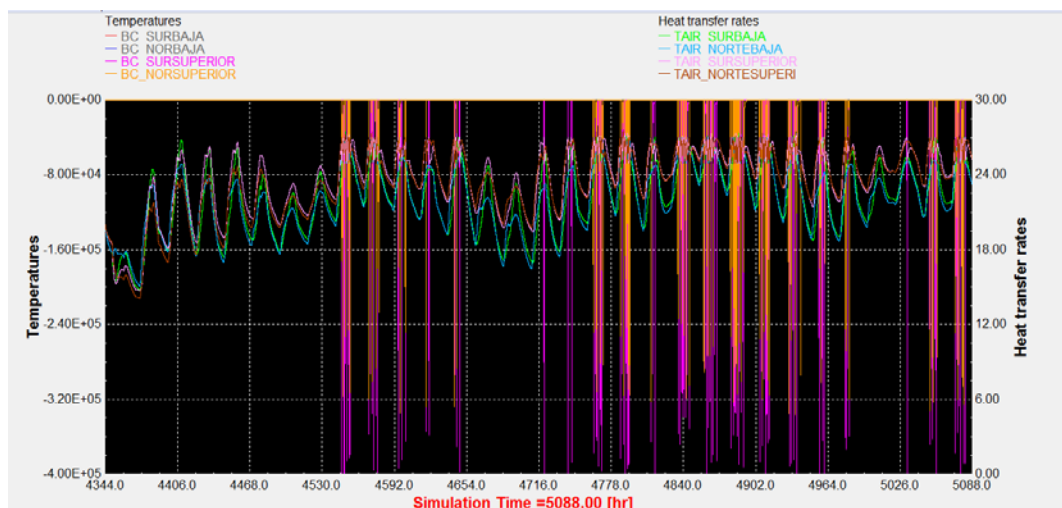


Figura 5-38 Trabajo bomba de calor zonas Superiores julio

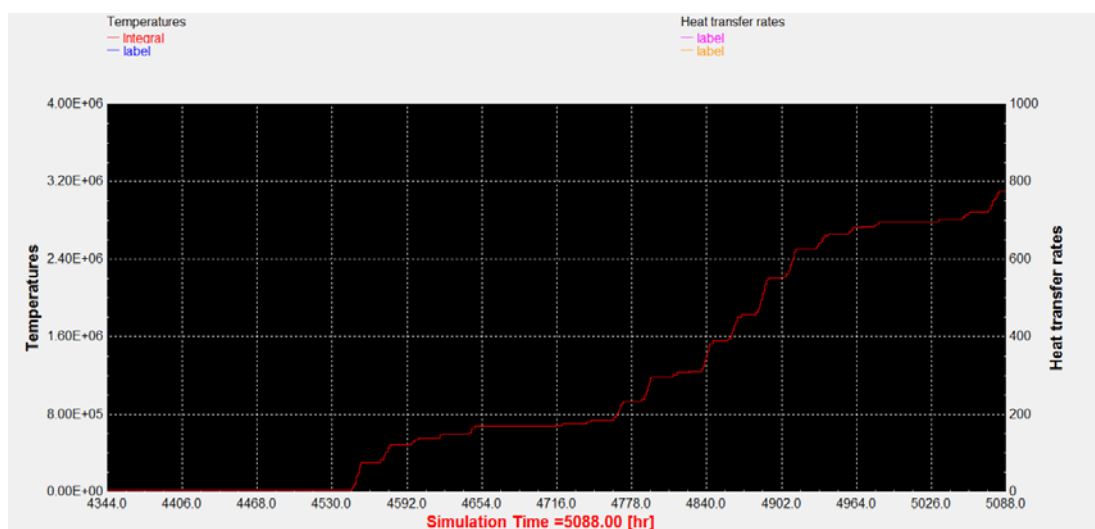


Figura 5-39 Consumo bomba de calor julio

Para el mes de agosto observamos exactamente lo mismo, el sistema funciona correctamente manteniendo la temperatura de los locales no más alta de la temperatura de consigna. Vemos que aumenta el consumo ya que al aumentar la temperatura media del mes la bomba tiene que trabajar más para mantener la temperatura estable.

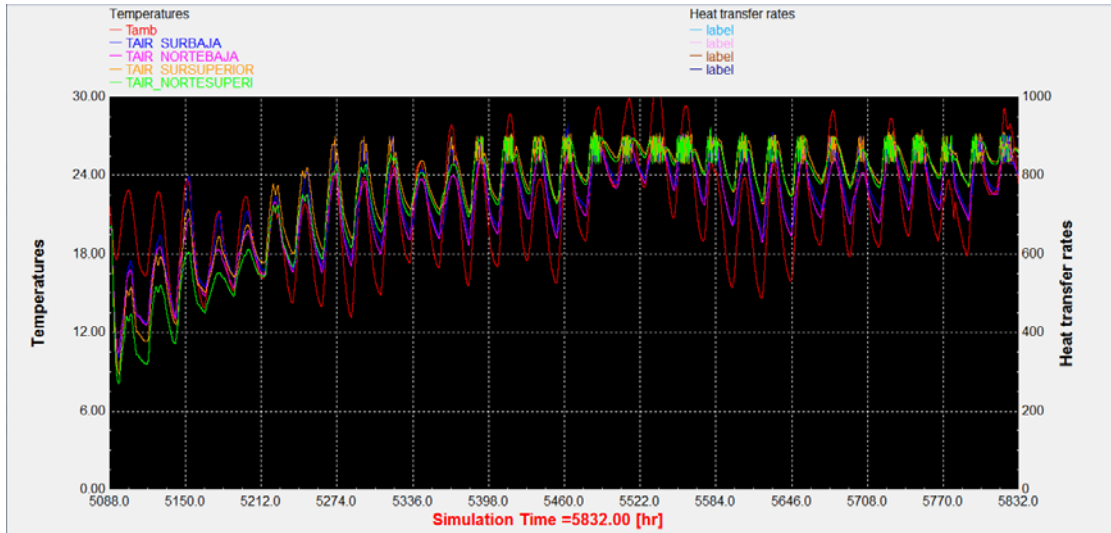


Figura 5-40 Temperatura zonas agosto

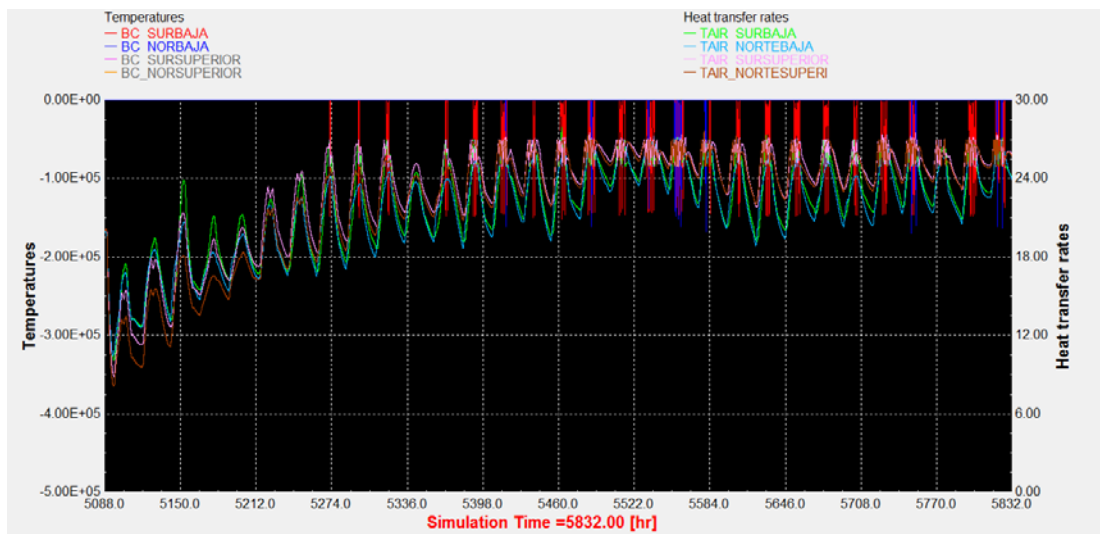


Figura 5-41 Trabajo bomba de calor zonas Bajas agosto

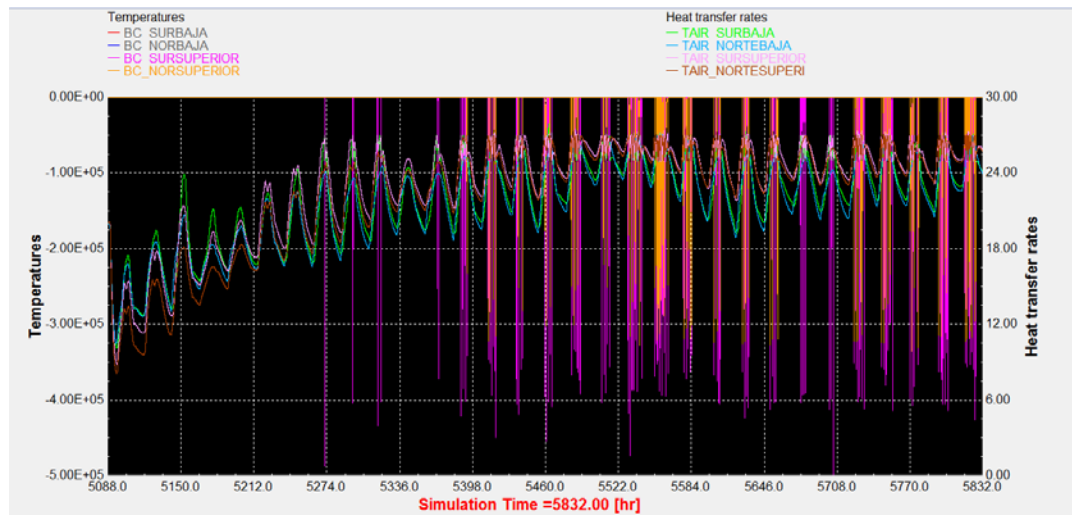


Figura 5-42 Trabajo bomba de calor zonas Superiores agosto

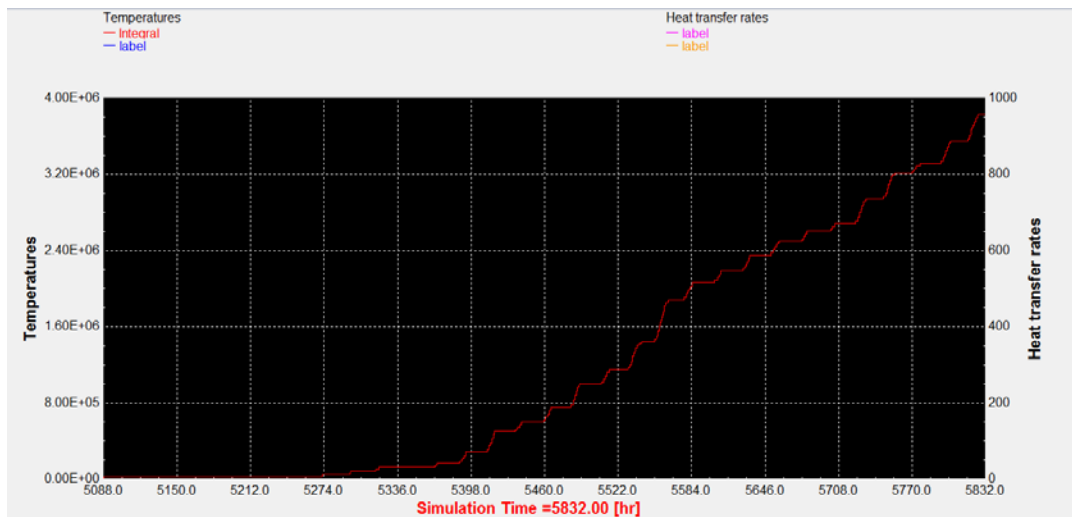


Figura 5-43 Consumo bomba de calor agosto

Para el mes de septiembre las temperaturas exteriores descienden ligeramente rondando más la temperatura de consigna, lo que produce que la bomba pueda reducir su trabajo y con ello su consumo.

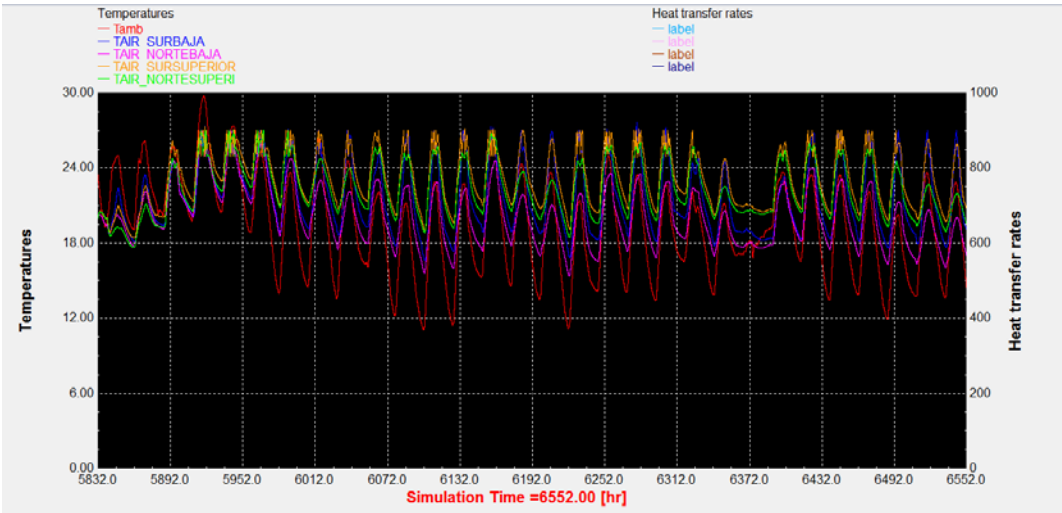


Figura 5-44 Temperatura zonas septiembre

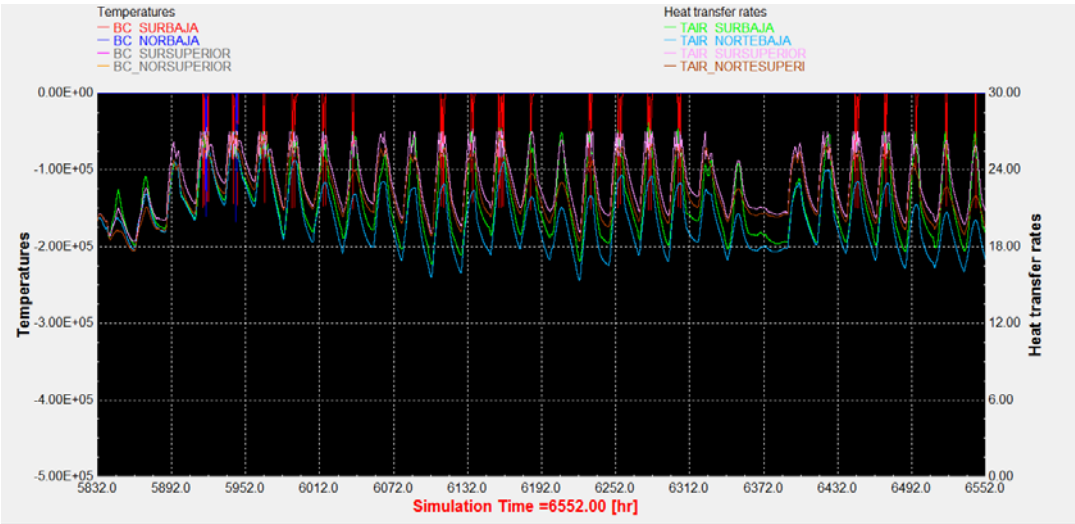


Figura 5-45 Trabajo bomba de calor zonas Bajas septiembre

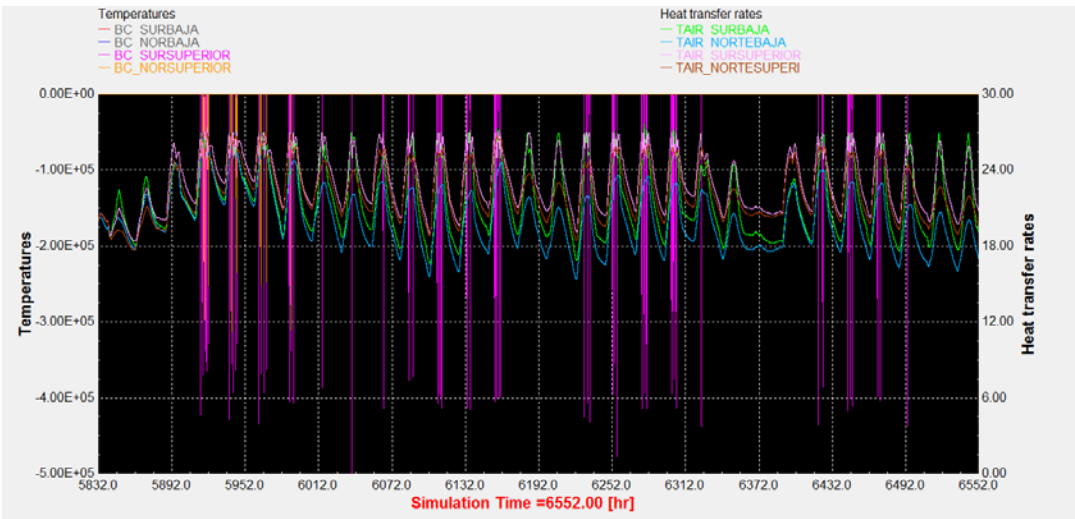


Figura 5-46 Trabajo bomba de calor zonas Superiores septiembre

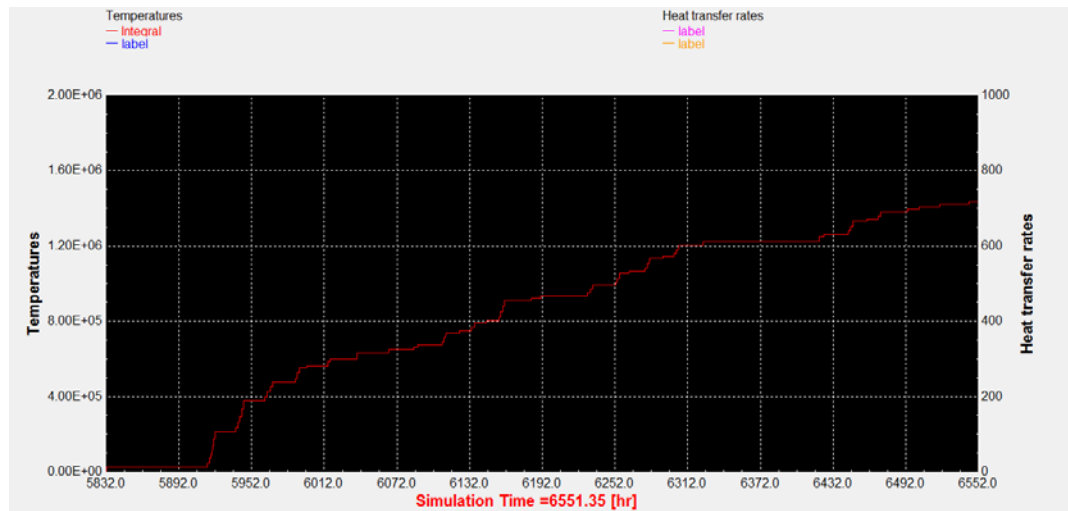


Figura 5-47 Consumo bomba de calor septiembre

Durante el mes de octubre vamos a observar cómo se produce el proceso contrario al mes de abril. A mediados de mes vamos a pasar de nuevo a la estación de invierno, por lo que la bomba va a trabajar para calentar los locales. Ahora queremos que la temperatura no baje de los 20° C por lo que en las zonas inferiores donde la temperatura es menor tendrá que trabajar más para evitar estos descensos, mientras que en las zonas superiores, la estratificación hará que la bomba tarde más en empezar a ser requerida.

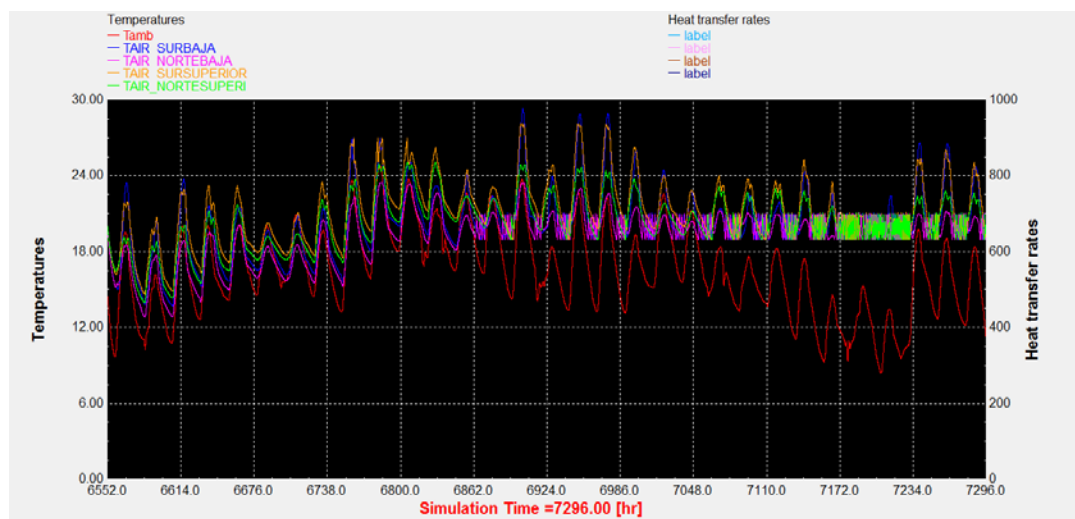


Figura 5-48 Temperatura zonas octubre

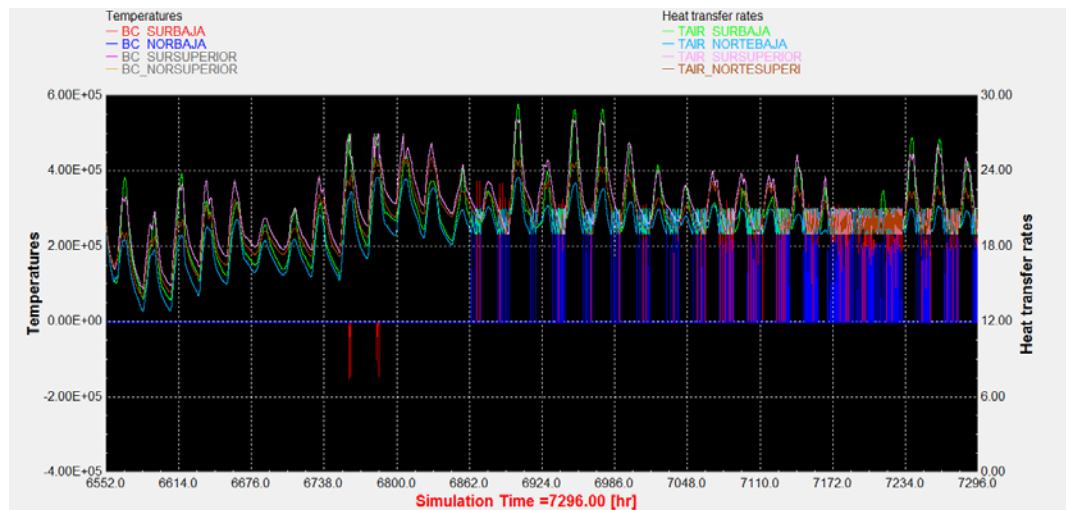


Figura 5-49 Trabajo bomba de calor zonas Bajas octubre

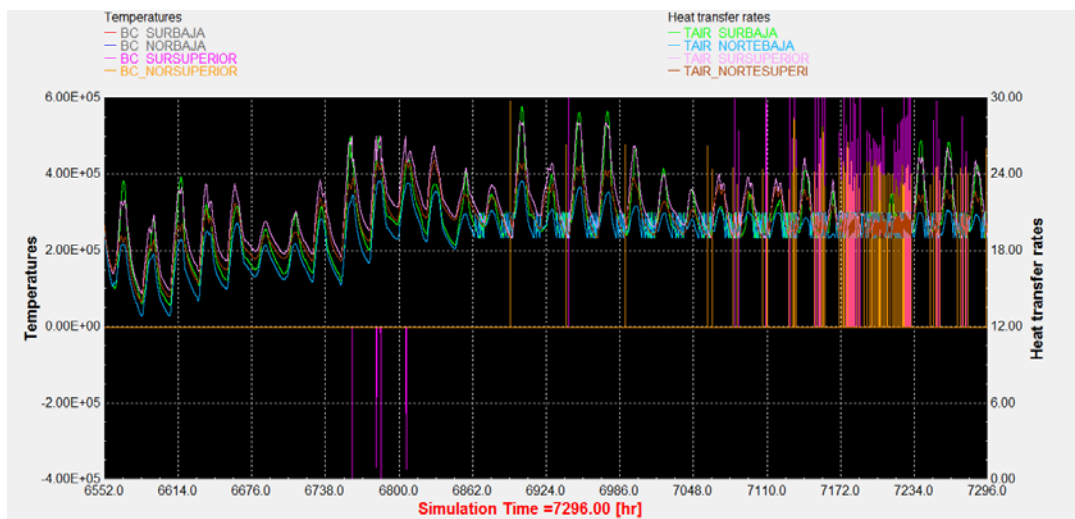


Figura 5-50 Trabajo bomba de calor zonas Superiores octubre

Vemos como el hecho de que la bomba trabaje en modo calor hace que se dispare el consumo de esta con respecto a los meses de verano.

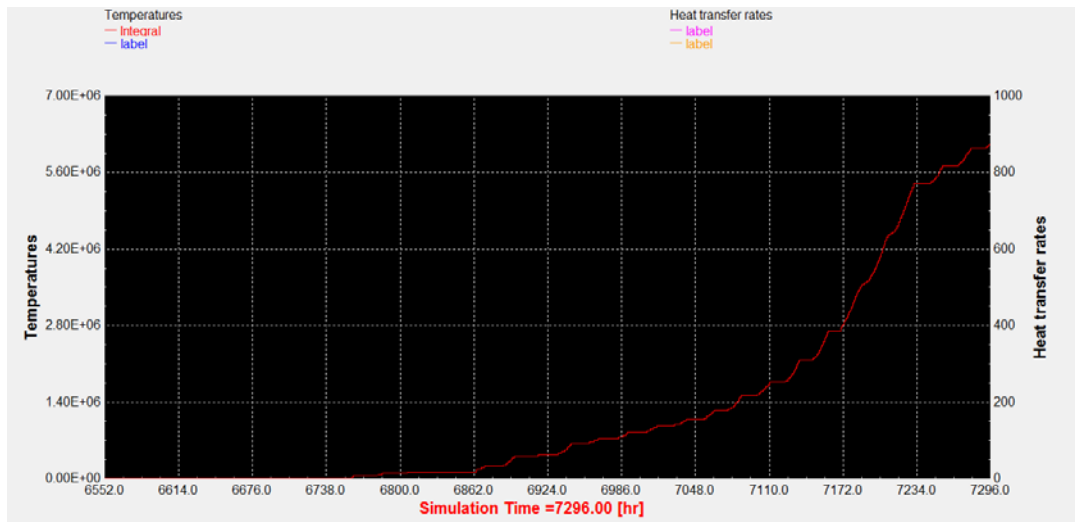


Figura 5-51 Consumo bomba de calor octubre

Para el mes de noviembre vamos a ver que se cumple lo mismo que se cumplía para el mes de febrero. Vemos que poco a poco aumenta el consumo debido a que la bomba de calor es requerida durante la estación de invierno durante prácticamente todo el mes.

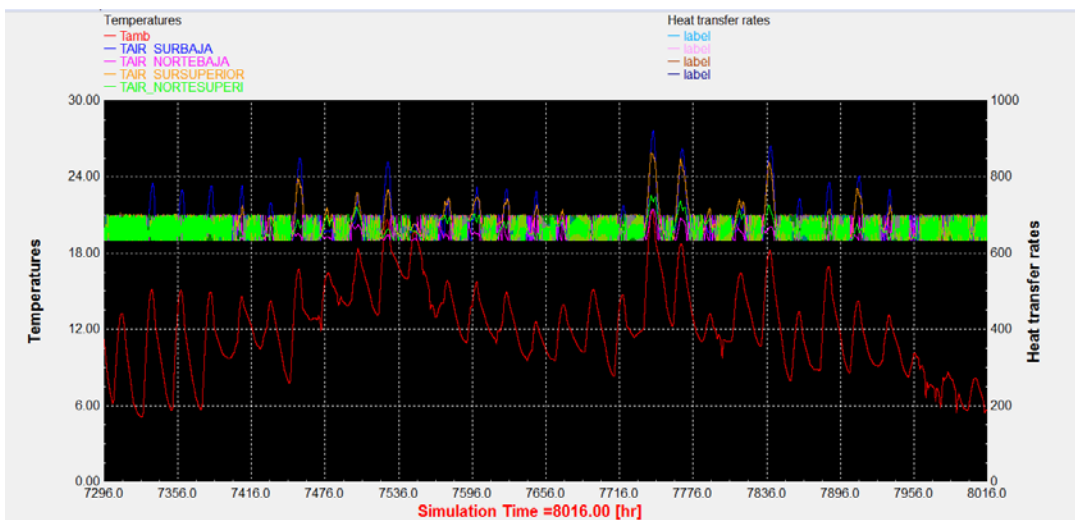


Figura 5-52 Temperatura zonas noviembre

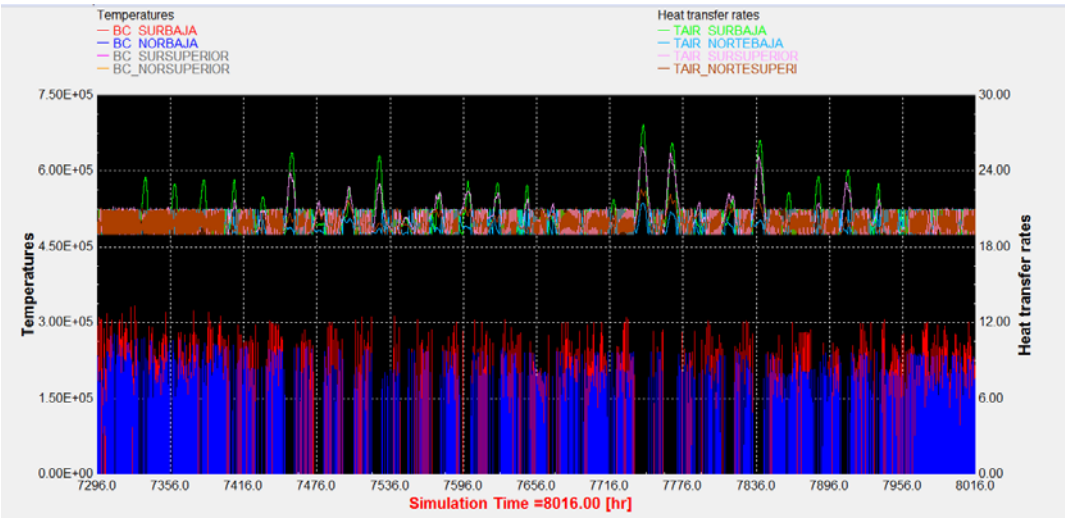


Figura 5-53 Trabajo bomba de calor zonas Bajas noviembre

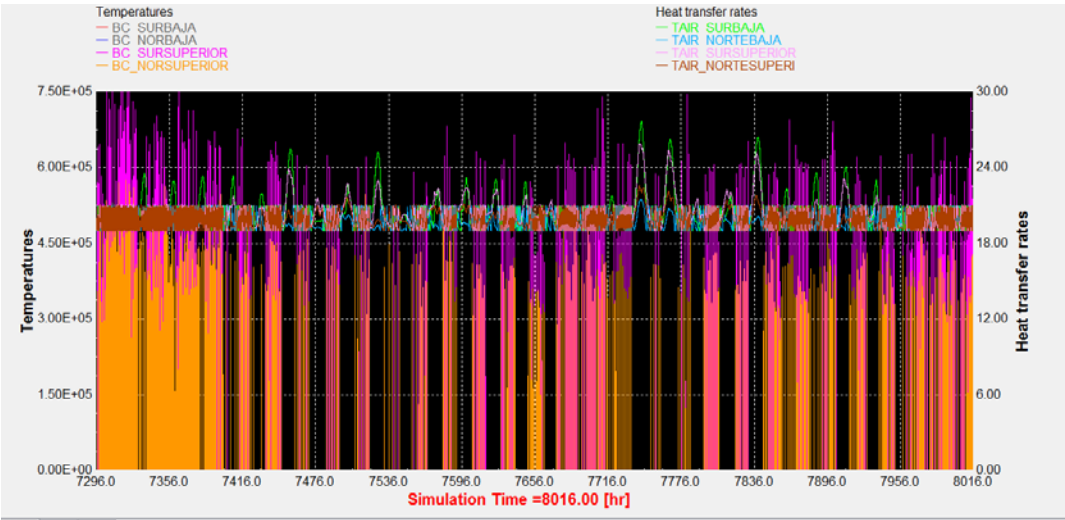


Figura 5-54 Trabajo bomba de calor zonas Superiores noviembre

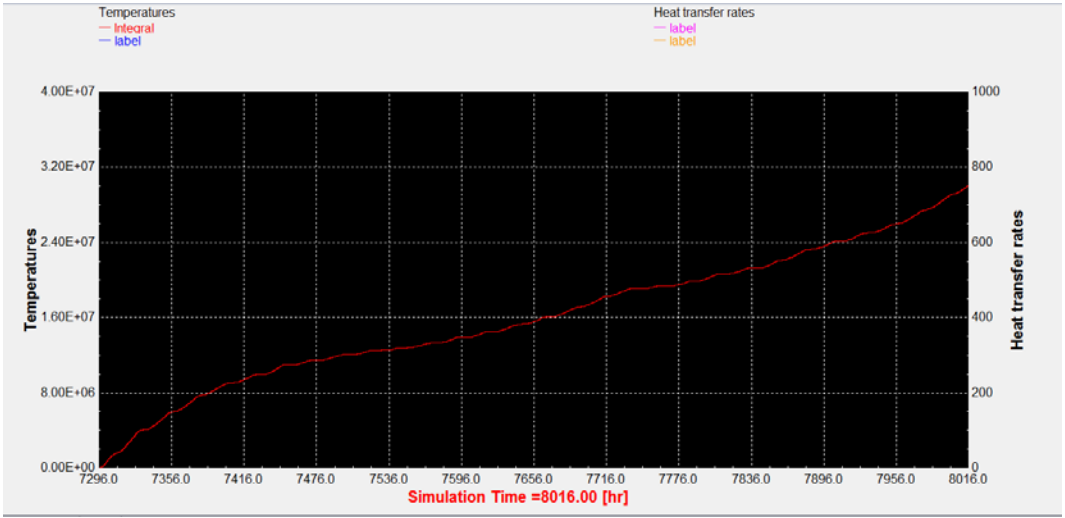


Figura 5-55 Consumo bomba de calor noviembre

Los datos del mes de diciembre cumplen la misma tendencia, cuanto más desciende la temperatura ambiente más es requerida la bomba de calor para mantener la temperatura de consigna en las zonas y por tanto se dispara de nuevo el consumo.

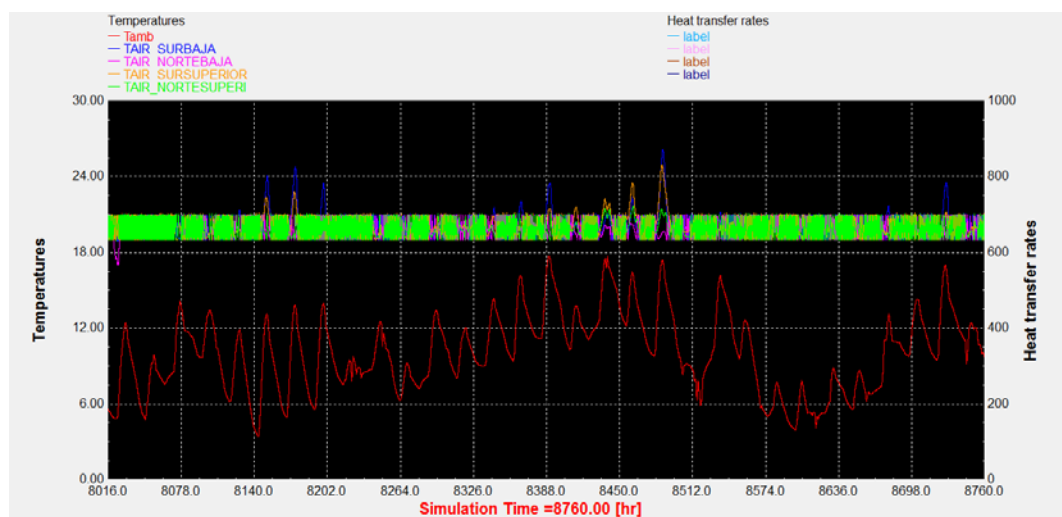


Figura 5-56 Temperatura zonas diciembre

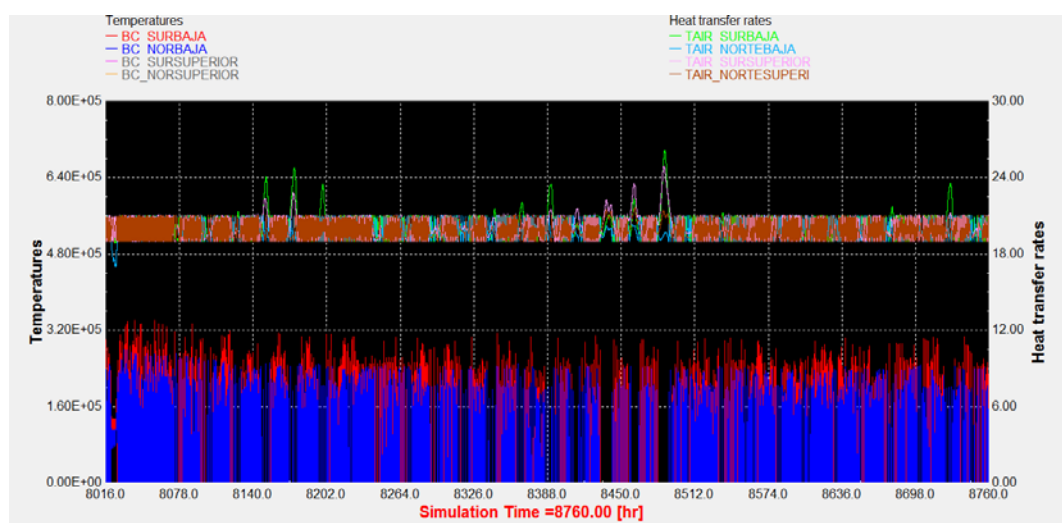


Figura 5-57 Trabajo bomba de calor zonas Bajas diciembre

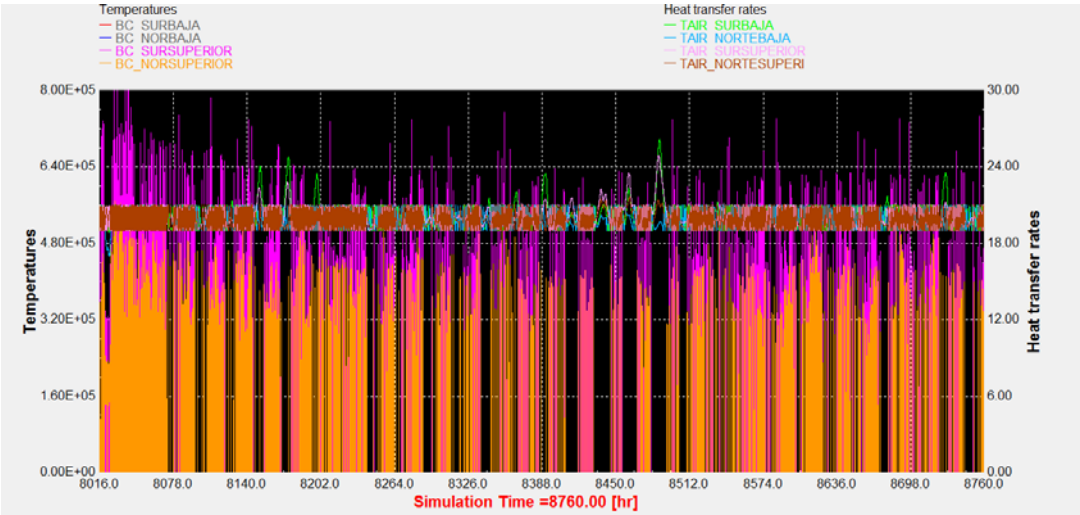


Figura 5-58 Trabajo bomba de calor zonas Superiores diciembre

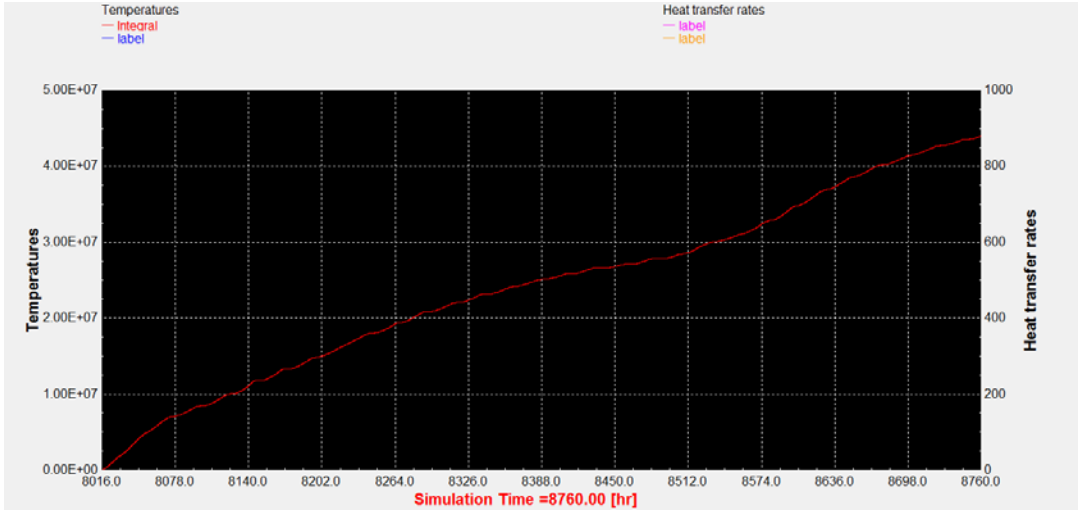


Figura 5-59 Consumo bomba de calor diciembre

5.2 Comparación datos de consumo Bomba de calor

En este apartado vamos a comparar los datos de consumo obtenidos en el modelo simulado con los datos de consumo eléctrico reales del edificio. Para ello usaremos los datos de consumo de los años 2012 y 2013, ya que son los dos únicos años de los que disponemos de datos de un año natural completo.

Los datos obtenidos durante la simulación para los doce meses del año son los siguientes:

Mes	Consumo (KJ/h)	Consumo (kW/h)
Enero	39291000	10914,16667
Febrero	31217000	8671,388889
Marzo	26598000	7388,333333
Abril	10187000	2829,722222
Mayo	454905	126,3625
Junio	2429800	674,9444444
Julio	3108000	863,3333333
Agosto	3835200	1065,333333
Septiembre	1437800	399,3888889
Octubre	6134100	1703,916667
Noviembre	30096000	8360
Diciembre	44041000	12233,61111

Tabla 5-1 Consumos modelo simulado

Los datos de consumo que presenta el programa aparecen en KJ/h, mientras que los datos reales de los que disponemos están en kW/h, por ello deberemos realizar la conversión de unidades. Para ello solo tenemos que dividir los datos entre los 3600 que tiene una hora.

Para poder ver mejor la tendencia que sigue el consumo a lo largo del año podremos representarlo en un gráfico como el siguiente:

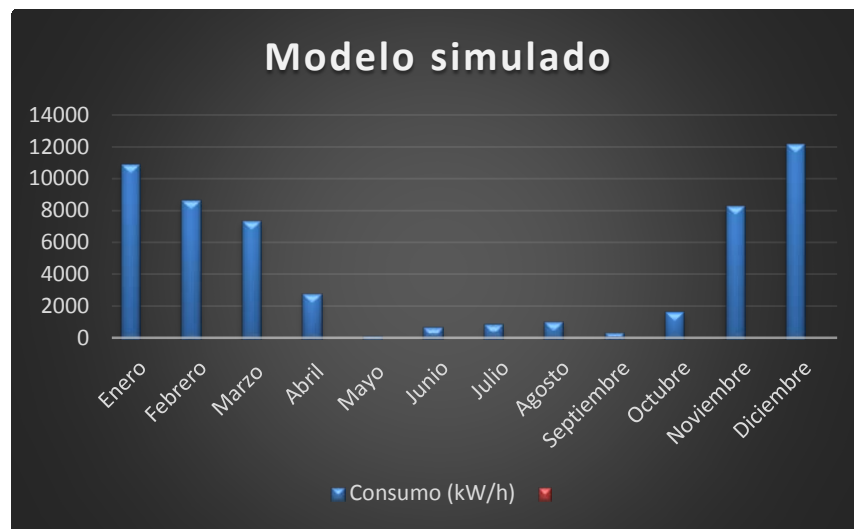


Figura 5-60 Gráfico consumo modelo simulado

Para el año 2012 tenemos los siguientes datos de consumo eléctrico:

Mes	Consumo (kW/h)
Enero	8169
Febrero	10377
Marzo	7371
Abril	7180
Mayo	4815
Junio	3785
Julio	5433
Agosto	3949
Septiembre	5584
Octubre	5396
Noviembre	8394
Diciembre	8029

Tabla 5-2 Consumo eléctrico edificio 2012

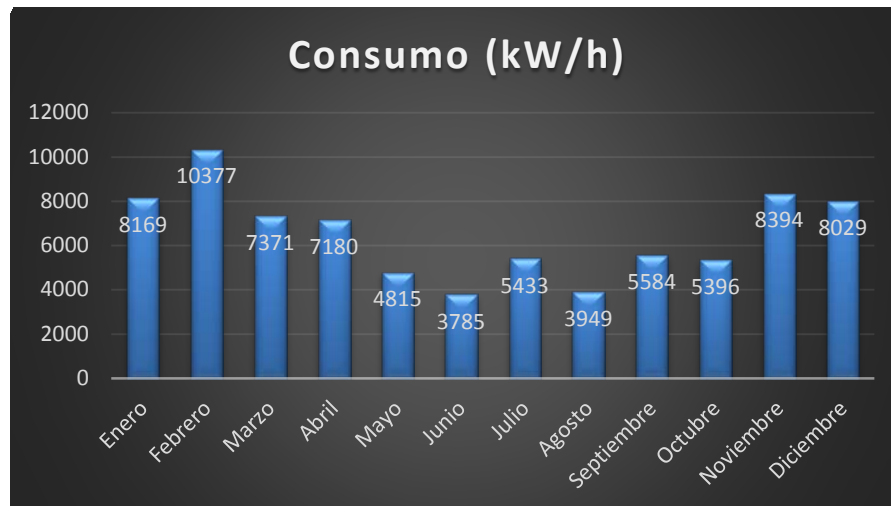


Figura 5-61 Gráfico consumo año 2012

Para el año 2013 tendremos que:

Mes	Consumo (kW/h)
Enero	10599
Febrero	11308
Marzo	10286
Abril	7394
Mayo	4329
Junio	3583
Julio	7645
Agosto	7368
Septiembre	8360
Octubre	5456
Noviembre	6035
Diciembre	5577

Tabla 5-3 Consumo eléctrico edificio 2013

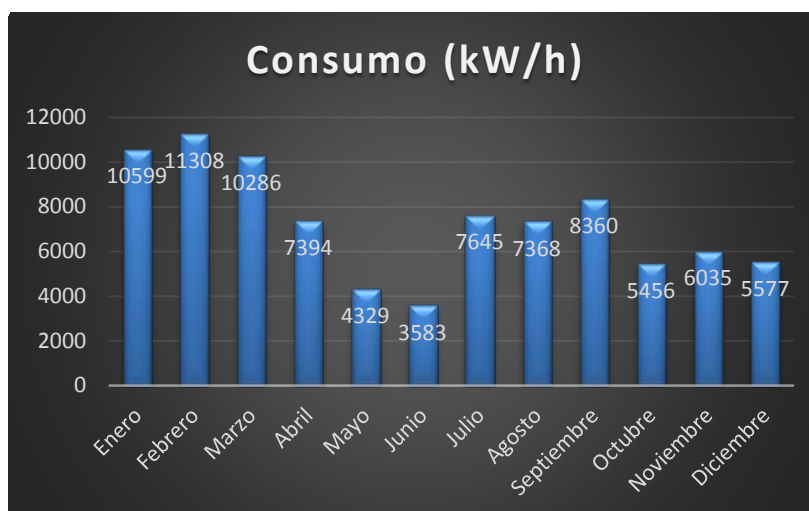


Figura 5-62 Gráfico consumo 2013

Tras observar los datos de consumos de los años 2012 y 2013 y compararlos a los del modelo térmico, podemos comprobar que siguen todos ellos la misma tendencia en general. Los datos más altos de consumo se producen en los meses de invierno, en los cuales la bomba de calor es requerida para mantener la temperatura del interior de las zonas térmicas. En los meses de verano la bomba de calor funciona menos en enfriamiento ya que la temperatura de la zona es similar a la que hemos fijado como temperatura de consigna.

Podemos comprobar en los datos de consumo del modelo térmico que el hecho de haber fijado la temperatura de consigna en 26° C y que hayamos configurado la bomba de tal manera que enfríe siempre que la temperatura de las zonas supere dicha temperatura hace que el consumo baje muchísimo en los meses de verano. El hecho de que la instalación sólo permite trabajar en modo frío o modo calor hace que si la temperatura de la zona baja de 20° C en verano debido al descenso de la temperatura exterior, la bomba no trabajara para aumentar esta temperatura, ya que al estar funcionado en modo frío, en ningún momento cambiará dicha configuración.

En los datos reales de consumo del edificio en el año 2013 se observa que durante los meses de julio, agosto y septiembre se produce un mayor consumo de la bomba de calor que durante los meses de octubre, noviembre y diciembre. Esto difiere totalmente de los resultados que deberíamos obtener y del consumo real que debería producirse. Hay que recordar que los datos de consumo son generales del edificio por lo que es posible que el consumo producido por la iluminación artificial del edificio tenga algo que ver. De todas formas no son normales estos resultados, ya que en los datos del año 2012 se puede comprobar que la tendencia sí coincide con la de nuestro modelo térmico. Aun así, es posible también que estos datos pueden tener algún tipo de fallo producido por un error a la hora de tomar el registro o incluso a la hora de transcribirlo a una tabla de “Excel”, por ejemplo. Es importante recalcar que a pesar de que el consumo eléctrico de otros equipos no está contemplado, la tendencia del consumo total sigue la tendencia de la bomba de calor debido a la importancia de la potencia de la misma frente al consumo del resto de equipos.

6 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

6.1 Conclusiones

Una vez finalizado todo el trabajo de análisis del sistema de climatización del edificio del Centro Universitario de la Defensa es necesario establecer las conclusiones a las que se han llegado a lo largo de la realización de este proyecto.

Como primera conclusión hay que decir que al final se han cumplido los objetivos de llevar a cabo la simulación de un modelo térmico que cumpliera con las características del sistema real del que dispone el edificio. A partir de un modelo bastante simplificado se han podido obtener datos que difieren muy poco de los que se esperaba obtener al principio del proyecto.

A lo largo de la realización del modelo se ha podido comprobar como existen ciertas limitaciones o dificultades a la hora de utilizar alguno de los programas informáticos como por ejemplo el programa “trnsys”. Este programa es un programa muy útil y que da unos resultados coherentes a la hora de realizar la simulación, pero la experiencia es lo que determina el uso adecuado de las mismas.

Aun así, se consiguió finalmente realizar la simulación y obtener los datos requeridos para la comparativa.

Como se fue comentando en el apartado anterior a medida que se obtenían los diferentes resultados se pudo comprobar como la temperatura de las diferentes zonas se comportaban de manera normal y como se suponía. El hecho de que las caras Sur de las zonas estén expuestas a la influencia de los rayos solares debía producir que estas zonas aumentaran su temperatura en comparación con las zonas norte, que por el contrario se encuentran a poco más de 50 m del mar y sin recibir los rayos del Sol de manera directa nunca. Por otro lado, se confirmó también que las zonas superiores tendrían mayores temperaturas que las plantas bajas ya que debido a la estratificación, el calor de las zonas inferiores ascenderá hacia las superiores.

También se comprobó a través de realizar la comparativa de los consumos simulados y reales de la bomba de calor que esta actuaba como debería, y con ella, todo el sistema de climatización. Es obvio que al ser un modelo tan simplificado los datos siempre iban a diferir de los reales, pero al comprobar que las tendencias de dichos consumos en gran parte coinciden, hace pensar que se ha configurado correctamente el modelo para que funcione de la manera más real y precisa posible.

Es normal que haya diferencias ya que por ejemplo los horarios de ocupación y ganancias que se introdujeron en “trnbuilt” no coinciden exactamente con la realidad, y es que debido a las limitaciones del programa no se han podido determinar a la perfección todas las características en este aspecto. En

el edificio existe un período de tiempo como son las vacaciones de verano, navidad o semana santa, en las cuales aunque no hay docencia pero el personal que allí trabaja puede utilizar el sistema de climatización los días de apertura del centro. Además los horarios de alumnos, como se comentó en apartados anteriores, varían y se alternan cada semana en A y B, variando la ocupación de las zonas, aunque de manera ínfima, a lo largo de las distintas semanas. Esto no se pudo implementar debido a la poca flexibilidad en la creación de horarios del programa.

En definitiva, se ha podido comprobar por medio de la realización de este trabajo y a través de la simulación de nuestro modelo, que el sistema de climatización del que dispone el edificio funciona correctamente. A partir de ahora, lo necesario será ir “limando” las características del modelo térmico para poder obtener unos datos lo más precisos posibles en comparación con los reales.

6.2 Líneas futuras

Tras la finalización de este trabajo quedan una serie de cuestiones en el aire y puede definirse una línea de trabajo para que en el futuro lo realizado en el presente estudio pueda servir como base para todos aquellos que quieran desarrollar sobremanera lo aquí expuesto. Como se ha dicho a lo largo de este trabajo, el estudio de la climatización de este edificio se ha realizado siempre de una manera muy simplificada que por supuesto sirve como referencia para clarificar el funcionamiento del sistema. Aun así, está claro que debido a tal simplificación los datos aquí obtenidos no son exactos al cien por cien, por lo que se propone que para futuros trabajos, se trate de realizar el estudio de una forma más precisa.

Para poder ser más precisos en el estudio habría que diferenciar dentro de las zonas térmicas los diferentes despachos, seminarios y demás partes en las que se divide cada una de ellas, en vez de tratarlas como un todo. Esto conseguiría poder diferenciar incluso dentro de las zonas las partes que sufren más variaciones de calor, ya que hay seminarios que tienen un alto número de horas de uso, mientras que hay otros que apenas son utilizados, por lo que existe diferenciación entre tales espacios.

Por otro lado, hay zonas que no se han contemplado a la hora de realizar la simulación, como son la zona de la entrada este del edificio que da a las plantas bajas, así como las escaleras que suben a las plantas superiores y la entreplanta que hay entre ambas zonas. La climatización de estas zonas es escasa y se decidió que su inclusión apenas afectaría al planteamiento inicial y se decidió no hacerlo.

En el propio diseño del edificio se ha obviado ciertas partes por considerarlas en cierto modo irrelevantes para el estudio. Zonas como el espacio entre plantas, en las que existe un falso techo de más de un metro de altura en ambas plantas. El tejado del edificio no se ha representado por lo que las pérdidas de calor que allí ocurren podrían ser planteadas en el futuro.

Tampoco se han representado por falta de tiempo los edificios adyacentes al mismo, que pueden producir sombra en ciertas caras del edificio, y que pueden producir que las pérdidas de calor a través de las distintas zonas varíen ligeramente.

Como ya se ha precisado en las características del modelo se podrían conseguir unos datos más reales en cuanto a cerramientos principales, utilizando los aquí expuestos como base y referencia. Si se hayan esos datos más precisos se podría dar el siguiente paso, y tratar de proponer mejoras al sistema. Podría proponerse como mejorar el rendimiento de la bomba de calor, como cambiar los horarios de clase para que no haya cambios notables de temperatura o incluso podría proponerse la implantación en la cara sur de algún elemento que redujera la influencia de los rayos solares en dicha cara.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, «www.minetur.gob.es,» Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/RITE/Reglamento/RDecreto-1027-2007-Consolidado-9092013.pdf>. [Último acceso: 28 Enero 2016].
- [2] Asociación Técnica Española de Climatización, «www.minetur.gob.es,» 2008. [En línea]. Available: http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/OtrosDocumentos/Calificaci%C3%B3n%20energ%C3%A9tica.%20Viviendas/Guia_Procedimientos_Simulacion.pdf. [Último acceso: 07 Febrero 2016].
- [3] Ministerio de Fomento, «www.codigotecnico.org,» 12 Septiembre 2013. [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/images/stories/pdf/ahorroEnergia/DBHE.pdf>. [Último acceso: 07 Febrero 2016].
- [4] Ministerio de Fomento, «www.codigotecnico.org,» Octubre 2013. [En línea]. Available: <http://www.codigotecnico.org/index.php/menu-ahorro-energia>. [Último acceso: 08 Febrero 2016].
- [5] Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, «www.insht.es,» 2007. [En línea]. Available: http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/TextosOnline/FichasNotasPracticas/Ficheros/np_enot_99.pdf. [Último acceso: 10 Febrero 2016].
- [6] «www.higieneindustrialyambiente.com,» [En línea]. Available: <http://www.higieneindustrialyambiente.com/estres-termico-frio-calor-confort-quito-guayaquil-cuenca-ecuador.php>. [Último acceso: 03 Marzo 2016].
- [7] C. J. y. F. I. Renedo, «[www.ocw.unican.es](http://ocw.unican.es),» [En línea]. Available: <http://ocw.unican.es/enseanzas-tecnicas/frio-industrial-y-aire-acondicionado/material-de-clase-2/003%20Cargas%20Termicas.pdf>. [Último acceso: 12 Febrero 2016].
- [8] «www.ahorroyeficienciaencasa.wordpress.com,» 12 Abril 2012. [En línea]. Available: <https://ahorroyeficienciaencasa.wordpress.com/2012/04/17/cargas-termicas-que-son-y-como-aprovecharlas-para-tener-un-hogar-mas-aislado-termicamente/>. [Último acceso: 03 Marzo 2016].

- 2016].
- [9] J. L. Corento, «www.certificacio-energetica.com,» 12 Diciembre 2013. [En línea]. Available: <http://certificacio-energetica.com/que-es-la-envolvente-termica/>. [Último acceso: 03 Marzo 2016].
 - [10] «www.lugocanal.com,» [En línea]. Available: <http://www.lugocanal.com/mostrarSeccion.php?id=40>. [Último acceso: 03 Marzo 2016].
 - [11] E. Torrella, «www.escalofrios.es,» 2002. [En línea]. Available: www.escalofrios.es/Climatizacion/pag/Sistemas%20de%20Climatizacion.pdf. [Último acceso: 23 Febrero 2016].
 - [12] «Armada Española,» [En línea]. Available: http://www.armada.mde.es/ArmadaPortal/page/Portal/ArmadaEspañola/_inicio_home/prefLang_es/. [Último acceso: 03 Marzo 2016].
 - [13] «Google Earth,» [En línea]. Available: <https://www.google.es/earth/index.html>. [Último acceso: 02 Febrero 2016].
 - [14] Aermec, «Aermec,» 15 Enero 2008. [En línea]. Available: http://planetaklimata.com.ua/instr/Aermec/Aermec_NRL_A_E_HA_HE_57-163_Installation_Manual_Eng.pdf. [Último acceso: 28 Enero 2016].
 - [15] Airlan, «Airlan,» [En línea]. Available: <http://www.airlan.es/documentos/269-272-fcx-p1376909768.pdf>. [Último acceso: 05 Febrero 2016].
 - [16] «Sketchup,» Sketchup, [En línea]. Available: <https://www.sketchup.com/es/about/sketchup-story>. [Último acceso: 17 Febrero 2016].
 - [17] «Trnsys,» Trnsys, [En línea]. Available: <http://www.trnsys.com/>. [Último acceso: 16 Marzo 2016].
 - [18] «Meteonorm,» Meteonorm, [En línea]. Available: <http://www.meteonorm.com/>. [Último acceso: 16 Febrero 2016].

ANEXO I: INVENTARIO DEL PROYECTO: PONTEVEDRA/ MARÍN/ ESCUELA NAVAL/ EDIFICIO ADMINISTRATIVO PARA EL CENTRO ADSCRITO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

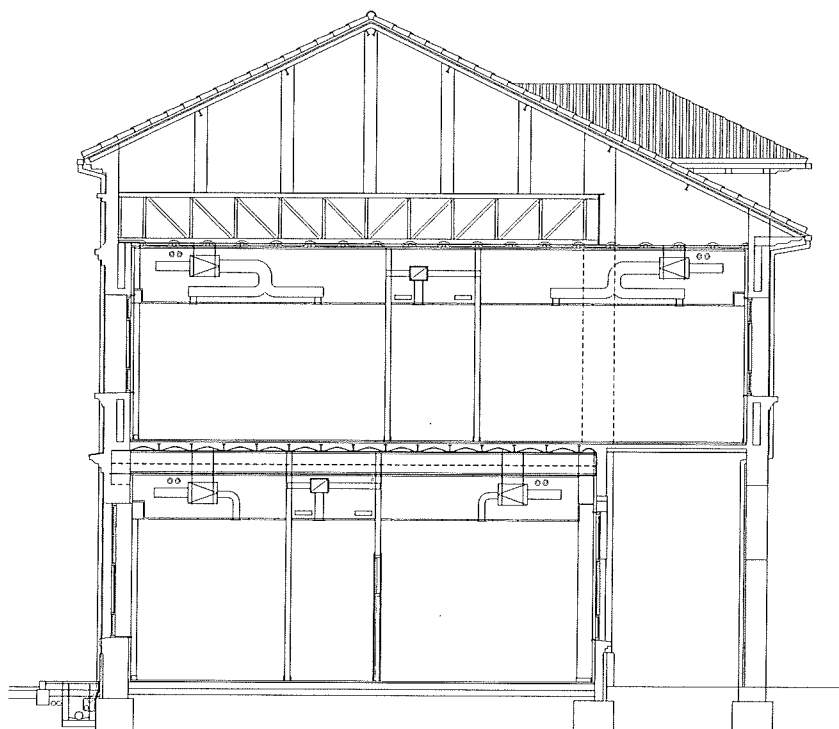
En este Anexo se va a incluir el documento en el que se explican las obras que tuvieron lugar en el año 2010 en el edificio para remodelarlo con la intención de poder cumplir la función que cumple hoy en día. En este anexo se incluyen las características técnicas del edificio que se han empleado a lo largo de este proyecto.

MINISTERIO DE DEFENSA

DIGENIN

**SUBDIRECCION GENERAL DE
TIPIFICACION Y SUPERVISIÓN**

**INVENTARIO DEL PROYECTO:
PONTEVEDRA/ MARIN/ ESCUELA NAVAL/ EDIFICIO
ADMINISTRATIVO PARA EL CENTRO ADSCRITO
UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA**



Redactado por el Tcol. Ingeniero del CIP

D. Félix González de la Campa

Madrid, Abril de 2010

MINISTERIO DE DEFENSA

DIRECCION GENERAL DE INFRAESTRUCTURA

INVENTARIO DEL PROYECTO: PONTEVEDRA/ MARIN/ ESCUELA NAVAL/ EDIFICIO ADMINISTRATIVO PARA EL CENTRO ADSCRITO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA

1. MEMORIA

1.1 AGENTES ACTUANTES

Las obras realizadas han sido promovidas por la Subdirección de Planificación y Control de la Dirección General de Infraestructura, en desarrollo del ADNE denominado “PONTEVEDRA/ MARÍN /ESCUELA NAVAL MILITAR / CREACIÓN DE UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO DEL CENTRO UNIVERSITARIO DE LA DEFENSA”, de 2007, que fue aprobado por el Secretario de Estado de Defensa.

El proyecto y dirección de las obras ha corrido a cargo de la Subdirección General de Tipificación y Control de la Dirección General de Infraestructura, siendo el Ingeniero director de Obra, el Teniente Coronel del CIP Félix González de la Campa y el Contratista principal el Servicio Militar de Construcciones.

1.2 OBJETO DE LAS OBRAS

La Escuela Naval Militar dispone de unas magníficas instalaciones, con una capacidad de aulas, laboratorios y servicios generales muy superior al que le correspondería por su número actual de alumnos.

Sin embargo, adolece de una cierta escasez de espacios administrativos, que se concentraban fundamentalmente en el ala Oeste del edificio del patio principal, de forma que los profesores por regla general no disponen de despacho propio, compartiendo el escaso espacio disponible en las oficinas de los departamentos.

Las aulas y laboratorios se ubican principalmente en dos edificios: el ya citado del patio principal, de dos plantas, con aulas de tamaño medio o pequeño, que comparte con la Dirección del Centro, la enfermería, el almacén de vestuarios, imprenta y otras dependencias administrativas, y el edificio denominado “Isaac Peral”, situado a unos 250 metros del primero, frente al muelle de patrulleras, ocupado en sus dos plantas por aulas y laboratorios de tamaño medio y grande.

Se dispone además en otros edificios las residencias de tropa y alumnos, los servicios generales, talleres, almacenes y zonas deportivas, todo ello en buen estado y con capacidad suficiente.

Esta organización estaba bien adaptada al sistema de enseñanza tradicional, pero no al nuevo sistema de centros asociados Universitarios de la Defensa, que requiere un notable aumento de capacidad, principalmente de espacios para el nuevo profesorado universitario.

El objeto de las obras ejecutadas ha sido por tanto la obtención de los espacios necesarios para instalar las dependencias administrativas del nuevo Centro Universitario Asociado, según el ADNE aprobado, compuestas fundamentalmente por despachos para los profesores Universitarios que impartirán sus clases en la Escuela, así como espacio para seminarios y tutorías.

La ampliación de los espacios propiamente docentes no han sido contemplados en este proyecto, ya que la necesidad de nuevas aulas para la Escuela no es tan grande, ya que el alumnado no se ha incrementa tan significativamente respecto al actual como lo hace el profesorado. No obstante, en posteriores proyectos se afrontarán estas necesidades.

1.3 SOLUCION ADOPTADA

Al disponerse de suficiente superficie edificada, buena parte de ella infrautilizada y poca superficie libre exterior que pudiera permitir la ubicación de un nuevo edificio, se optó por realizar una obra de acondicionamiento interior, que pusiera en uso la edificación actual.

Para ello, se analizaron dos posibilidades, siendo la primera la adaptación de la segunda planta del edificio Isaac Peral, que se ocuparía en su totalidad, manteniendo en planta baja las aulas y laboratorios, y la segunda, que finalmente ha sido la adoptada, consistente en la adaptación del ala Norte del edificio del patio de aulas, en el espacio ocupado por aulas teóricas en planta alta y por el aula de artillería y el cuerpo de guardia en planta baja.

Las ventajas de esta solución sobre la primera son principalmente el mejor aprovechamiento del espacio, dado que el edificio es de menor profundidad de crujía que el Isaac Peral, y por tanto de mejor aprovechamiento y más fácil adaptación a una distribución que consiste fundamentalmente en despachos pequeños o medianos, y la mejor zonificación y mayor integración de las áreas de profesores civiles y militares, que se sitúan así contiguas, compartiendo la sala de descanso, cafetería y biblioteca.

El inconveniente (relativo), es el de disponer la mayor parte de las aulas en edificio distinto al de profesores, lo que obliga a una mayor frecuencia de desplazamientos.

La desaparición de las aulas pequeñas y del aula de artillería existentes, se ha compensado ya en parte por la adaptación de los locales de la antigua imprenta y de la rotaprint, situados en el

mismo patio de aulas, que se han transformado en aulas mediante un proyecto, independiente de éste.

1.4 DESCRIPCION DE LAS OBRAS

1.4.1 Descripción del edificio preexistente:

El edificio del lado Norte del patio de aulas es de dos plantas, de 5,45 y 4,52 m de altura libre en planta baja y primera, y de 15,5 por 50 metros en planta.

Fue construido a principios de la década de 1940, aprovechando los muros de carga de un edificio del antiguo polígono de tiro que existía en el lugar, al que se le suplementó una planta y se renovó la estructura horizontal.

En planta baja dispone de un porche hacia el patio de aulas de 3,50 m de ancho, por lo que la anchura en esta planta se reduce a 12 metros. En esta planta se encontraba la denominada “aula de artillería” de unos 28 metros de larga y toda la anchura y un aula teórica anexa a ésta, de unos 12x12 metros. En el aula se exhibían, a modo de museo, diversas piezas antiguas de artillería naval, de poco interés práctico dada su antigüedad. Además existían tres despachos en ambos extremos y unos aseos generales, con acceso directo desde el patio.

La entreplanta, que ocupa únicamente la primera crujía desde el Este aprovechando la gran altura de la planta baja, albergaba tres despachos, que utilizaba la asesoría jurídica.

La planta alta estaba ocupada totalmente por aulas de diversas capacidades, alrededor de un pasillo central. Disponía de un aula grande de unos 100 m² al fondo del pasillo, ocho aulas pequeñas, de unos 40 m², un aula mediana de unos 60 m² y un despacho de 18 m². Al realizarse originalmente el acceso a esta planta sólo desde la escalera del lado Este, los recorridos de evacuación en caso de incendio eran muy superiores a lo admitido por la normativa.

En ambas plantas las ventanas se distribuyen de manera regular, con grandes ventanales uniformemente espaciados cada cuatro metros.

La estructura del edificio es de muro de carga de ladrillo hueco y mampostería en ambas fachadas, y pilastras interiores de ladrillo hueco sobre la que apoya una estructura de vigas transversales cada cuatro metros y viguetas metálicas. Para salvar la gran luz del aula de artillería, el forjado de la planta primera estaba colgado mediante tirantes de acero redondo de unas vigas de celosía colocadas en el desván bajo la cubierta, que apoyan en la fachada Norte y en pilastras alineadas con el muro interior del porche de planta baja.

La cubierta, que es de teja a dos aguas, apoya asimismo sobre dichas vigas de celosía mediante pilares de hormigón que nacen en ellas, y está formada por vigas y viguetas IPN y un doble tablero de rasilla. El cielo raso de planta primera está formado por un tablero de rasilla ligeramente armada colgado de la estructura de cubierta mediante tirantes de acero redondo.

Toda la estructura estaba en muy buen estado de conservación, aunque era en general bastante débil e incapaz de soportar las cargas de la actual normativa debido a la escasez de acero, lo que se apreciaba en las numerosas grietas que por flexión de forjados se producían en las tabiquerías de planta primera.

El edificio que forma el chaflán Noreste del patio de aulas es de construcción posterior, de dos plantas de altura con estructura de muros de carga y forjados de viguetas metálicas, y no se comunicaba con el edificio principal.

Las obras realizadas en este edificio Noreste, afectan únicamente a parte de la planta baja, en la que se situaba el dormitorio de la guardia de prevención. La planta alta, utilizada por los servicios administrativos de la escuela no se modifica, aunque se ha renovado parcialmente su cubierta, que presentaba numerosas goteras, para disponer una terraza de instalaciones para el centro asociado.

1.7.2. Descripción del edificio reformado

Las obras realizadas reorganizan el edificio en sus dos plantas, y adaptan parte de la planta baja del edificio que forma el chaflán Noreste de dicho patio.

La entrada principal al Centro se realizará por el chaflán Noreste, desde el que se accede a la nueva escalera y ascensor que se han construido en el extremo Este del edificio principal, por el que se accede al primer piso, a la entreplanta y a la cubierta de instalaciones.

En ambas plantas principales se organizan los despachos y seminarios a ambos lados de un pasillo central, que comunica la nueva escalera citada con la escalera situada en el ala Oeste, que se mantiene sin modificación. De esta forma se mantiene una doble conexión, exigible además por las condiciones de evacuación de incendios, con el nuevo acceso y con el acceso principal al patio de aulas, junto a la escalera Oeste citada.

En planta primera, y en la zona Oeste, se sitúa la zona de dirección y administración del centro y en el resto de esta planta, y en la planta baja y entreplanta, los despachos de profesores y las bibliotecas o seminarios de los departamentos.

Junto a la escalera Este se han dispuesto en ambas plantas principales aseos masculinos y femeninos, manteniéndose además en planta baja los aseos generales de alumnos existentes, a los que se continúa accediendo desde el soportal del patio.

Las superficies útiles resultantes en cada planta son las siguientes.

- Planta baja

○ Despacho 2:	12,2 m2
○ Vestíbulo:	23,9 m2
○ Aseo masc.	11,2 m2
○ Aseo fem.	8,7 m2
○ Vestíbulo aseo	3,0 m2
○ Aseo adaptado	7,6 m2
○ Escalera	27,9 m2
○ Pasillo	98,6 m2
○ Profesores 3:	17,4 m2
○ Profesores 4:	12,5 m2
○ Biblioteca 5:	39,1 m2
○ Seminario 6:	28,2 m2

○ Biblioteca 7:	39,1 m2	
○ Seminario 8:	28,2 m2	
○ Biblioteca 9:	39,1 m2	
○ Seminario 10:	28,2 m2	
○ Biblioteca 11:	39,1 m2	
○ Seminario 12:	28,2 m2	
○ Profesores 13:	39,1 m2	
•	Total baja:	531,3m2
- Entreplanta:		
○ Escalera:	21,5 m2	
○ Despacho:	44,0 m2	
•	Total entreplanta:	65,5 m2
- Planta primera:		
○ Aseo masc.	11,6 m2	
○ Aseo fem.	8,5 m2	
○ Vestíbulo aseo	3,6 m2	
○ Escalera	26,2 m2	
○ Pasillo Este:	56,4 m2	
○ Profesores 23:	14,5 m2	
○ Profesores 24:	20,5 m2	
○ Profesores 25:	27,0 m2	
○ Profesores 26:	23,6 m2	
○ Profesores 27:	24,7 m2	
○ Profesores 28:	23,6 m2	
○ Profesores 29:	24,7 m2	
○ Profesores 30:	23,6 m2	
○ Profesores 31:	24,7 m2	
○ Profesores 32:	23,6 m2	
○ Profesores 33:	24,7 m2	
○ Profesores 34:	23,6 m2	
○ Sala de juntas 35:	24,7 m2	
○ Pasillo Oeste:	38,7 m2	
○ Admin. 36:	23,6 m2	
○ Admin. 37:	24,7 m2	
○ Sala de juntas 38:	24,7 m2	
○ Admin. 39:	24,7 m2	
○ Director 40:	47,8 m2	
○ Gerencia 41:	24,7 m2	
○ Oficina Dir. 42:	20,8 m2	
○ Secretaría 43:	46,2 m2	
•	Total primera:	685,7 m2
•	Total Útil:	1.279,5 m2

Las superficies construidas son:

- Planta baja:	664,0 m2
- Entreplanta:	84,9 m2
- Planta primera:	769,4 m2
Total construida:	1.518,3 m2

1.5 PRESTACIONES DEL EDIFICIO

Con las obras realizadas se han adaptado las plantas a las exigencias de la normativa actual en cuanto a aislamiento y eficiencia energética, seguridad de incendios y de utilización, según se describe en los apartados específicos del proyecto.

2. MEMORIA CONSTRUCTIVA

2.1 SISTEMA ESTRUCTURAL

Como ya se ha citado en la descripción general, el edificio es de muros de carga de mampostería y ladrillo, con vigas y viguetas metálicas, pero con la peculiaridad de que el forjado de la planta primera estaba colgado mediante tirantes de acero redondo de unas vigas de celosía transversales de 11 metros de luz, colocadas cada 4 metros bajo la cubierta, que apoyan en la fachada Norte por un lado y alternativamente en unas pilastras (de ladrillo hueco), de 62x62 cm, situadas cada 8 metros que nacen del muro interior del porche de planta baja y en el centro de la luz de otras vigas longitudinales similares que apoyan en estas mismas pilastras.

Pese a que el estado de conservación de la estructura es muy bueno, de su peritación se dedujo que presentaba puntos débiles, debido principalmente a una cierta escasez de acero, lo que produce deformaciones en general no admisibles, que se traducen en grietas en las tabiquerías de planta primera. También se aprecia debilidad en las pilastras citadas, debido a su mucha carga y altura.

Por ello, se optó por reforzar la estructura del forjado de planta primera, eliminando el tirante y colocando dos vigas transversales IPE-550 por cada uno de ellos, que reciben directamente la carga de las viguetas de forjado. Con ello se disminuye la luz de los forjados de 4 a 2,80 metros, y se reducen sustancialmente las cargas que soportan vigas de celosía y pilastras, que soportarán ahora únicamente la carga de cubierta. Además, al suprimir los tirantes se facilita la distribución de planta primera, que queda libre de elementos verticales. El refuerzo se ha calculado para reducir a valores del orden de 1/500 de la luz las flechas de la estructura en todos los casos.

El apoyo de las nuevas vigas se realiza sobre pilastras de hormigón armado adosadas a las de ladrillo de la fachada Sur, con las que se solidarizan reforzándolas y directamente sobre el muro de carga en la fachada Norte, que por su gran sección admite perfectamente las cargas.

Se ha construido una nueva escalera y ascensor en la primera crujía del lado Este, que al estar totalmente rodeada de muros de carga permite un fácil apoyo de las vigas zancas, que son de acero laminado con forjado colaborante de chapa grecada y capa de compresión de hormigón.

El ascensor, que es del tipo sin cuarto de máquinas, es autoportante, apoyando directamente sobre el foso, mediante pilares de perfil PNL y vigas UPN y HEB.

Las cargas consideradas son las siguientes:

1. FORJADOS DE PLANTA:

Peso propio forjado de viguetas de 20 cm. de canto.....	200 Kg/m ²
Solado de mármol.....	100 Kg/m ²
Sobrecarga de tabiquería.....	100 Kg/m ²
Falso techo acústico e instalaciones colgadas.....	20 Kg/m ²
<u>Sobrecarga de uso de oficina</u>	<u>300 Kg/m²</u>
TOTAL	720 Kg/m ²

2. FORJADOS ESCALERA:

Peso propio forjado colaborante de 10 cm. de canto	200 Kg/m ²
Solado de mármol.....	100 Kg/m ²
Peldaños	100 Kg/m ²
Falso techo	20 Kg/m ²
<u>Sobrecarga de uso</u>	<u>300 Kg/m²</u>
TOTAL	720 Kg/m ²

2.2 SISTEMA ENVOLVENTE

Las fachadas del edificio son de ladrillo hueco de 40 cm de espesor mínimo en planta primera y de mampostería, de 60 cm de espesor mínimo en planta baja, enfoscadas y pintadas exteriormente y guarnecidas de yeso al interior, con lo que cumplen las condiciones de aislamiento térmico y acústico exigibles, por lo que no se modifican.

La cubierta era de faldón de teja plana a dos aguas, sobre tablero de dos hojas de rasilla, con aleros de unos 60 cm de vuelo, canalones y bajantes de aluminio. Para aumentar su impermeabilidad se ha realizado el levantado, limpieza y recolocación de la cobertura de teja, renovando las rotas o dañadas y la instalación bajo la teja de una cubierta de fibrocemento ondulado en su color tipo Naturvex en toda su extensión.

Se ha reforzado el aislamiento del cielo raso de planta primera, formado por un tablero de rasilla ligeramente armada colgado de la estructura de cubierta mediante tirantes de acero redondo, mediante la colocación de una manta continua de fibra de vidrio de 7 cm de espesor sobre el cielo raso, y con la colocación de una tela metálica y la proyección de un mortero ignífugo de vermiculita bajo el mismo, de forma que se consigue una resistencia al fuego de 60 minutos para la estructura metálica de cubierta.

Se ha realizado asimismo la ignifugación completa de las vigas y forjados de planta primera por el mismo procedimiento, para obtener una resistencia al fuego de la estructura de 60 minutos.

La carpintería exterior, que es de aluminio lacado en color verde y estaba en buen estado se ha mantenido pero instalando un nuevo acristalamiento igual que el de las nuevas carpinterías que se sustituyen, con vidrio doble aislante de 4-6-4 mm.

Se ha incluido la instalación en todas las ventanas de persianas interiores de lamas de tipo gradulux.

Se ha realizado asimismo el levantado de la cubierta plana del cuerpo del chaflán Noreste, que presentaba graves problemas de goteras, construyendo una nueva impermeabilización transitable de lámina asfáltica autoprottegida y losas aislantes de poliestireno extruido y mortero

de cemento tipo filtrón, que se emplea como terraza de instalaciones, así como una bancada para la enfriadora.

En las cubiertas inclinadas de este cuerpo se emplea la misma solución del edificio principal, manteniendo la cubierta de teja sobre faldón de fibrocemento.

2.3 SISTEMA DE COMPARTIMENTACION

La compartimentación realizada es en general de yeso cartón con estructura de acero galvanizado y relleno interior de fibra mineral, con dos hojas de panel de yeso cartón de 15 mm por cada cara, y un espesor total de 13 cm. En aseos se ha utilizado el mismo tipo, pero con paneles resistentes al agua. Todos los tabiques, salvo los de separación interior de aseos nacen sobre el solado continuo y llegan al forjado superior o al cielo raso de rasilla en planta primera, para evitar la transmisión de ruidos por el falso techo.

2.4 SISTEMA DE ACABADOS

Los revestimientos de paramentos de todos los despachos son de pintura plástica lisa sobre el panel de yeso cartón. En los pasillos, escalera y distribuidores se ha utilizado pintura plástica de alta resistencia sobre tela de fibra de vidrio texturada de tipo texturglas.

En los locales húmedos se han revestido los paramentos con alicatado cerámico esmaltado tomado con mortero cola.

Los pavimentos de ambas plantas son de mármol rojo Alicante pulido y abrillantado, sobre capa de mortero de regularización, previa demolición del terrazo existente.

En locales húmedos se ha colocado un pavimento de baldosas de gres antideslizante sobre una capa de mortero de regularización, previa demolición del terrazo existente.

El falso techo es de bandejas metálicas de aluminio perforado en blanco con fieltro acústico de 60x60 cm, con perfilera vista de aluminio y moldura perimetral de pladur lisa en todos los locales habitables de planta baja y primera, con la distribución que se indica en los planos de instalación eléctrica.

En aseos, entreplanta y escaleras el techo es continuo de placas de yeso cartón sobre perfilera galvanizada oculta.

2.5 SISTEMA DE ACONDICIONAMIENTO E INSTALACIONES

2.5.1 Climatización:

Se ha resuelto la climatización integral del edificio, en invierno y verano, mediante un sistema de aire acondicionado con una nueva instalación formada por una bomba de calor aire-agua, una red de tuberías de agua enfriada o calentada a dos tubos y un sistema de fancoils de zona, instalados en el falso techo de los locales a acondicionar.

La bomba de calor, que proporciona calor en invierno y frío en verano, aprovechando el clima marítimo templado de la localidad, es del tipo aire-agua, compacta de intemperie, y se ha instalado en la terraza situada sobre el edificio del chaflán, a la que se ha dotado de un nuevo acceso desde la nueva escalera. Dispone de grupo hidrónico con bombas y sistemas de seguridad para la impulsión del agua tratada.

Para la climatización de los locales se han instalado fancoils coincidiendo con cada uno de los ventanales del edificio, de forma que no se condicionen los posibles cambios de distribución de las tabiquerías, que se han dimensionado modularmente para acondicionar su área anexa, con impulsión mediante difusores circulares y retorno por plenum en el falso techo.

La regulación es independiente para cada uno de los fancoils mediante termostato de ambiente con conmutador invierno-verano.

El aire exterior de renovación se acondiciona mediante un climatizador específico para cada planta que aporta un volumen de aproximadamente 1,5 renovaciones por hora para el conjunto de los locales, distribuyéndose el aire mediante conductos aislados de fibra de vidrio con acabado de aluminio a dos caras, que discurren sobre el falso techo de los pasillos, impulsando el aire sobre el falso techo de los locales, actuando este espacio como plenum de retorno de los fancoils. La tasa de renovación del aire puede regularse mediante un variador continuo de velocidad del motor del climatizador.

La distribución de agua enfriada o calentada se realiza mediante dos montantes junto a la escalera principal, a la que se conectan los anillos de cada planta, diseñados con el sistema de retorno invertido para equilibrado de las pérdidas de carga, y que discurren por el falso techo de cada planta. La recogida de condensados se canaliza mediante tuberías de PVC provistas de sifón común, a las bajantes del edificio. Se han dispuesto de válvulas de equilibrado de los circuitos de cada planta.

2.6.2. Fontanería y saneamiento:

La distribución de agua a los locales húmedos se realiza mediante tuberías de cobre aisladas con coquilla elastomérica instaladas en el falso techo o empotrada en los tabiques. Se disponen tuberías para agua fría y caliente, resolviendo la producción de agua caliente, que sólo surte a los lavabos, mediante dos termos eléctricos de 80 litros situados en el falso techo de los aseos.

El saneamiento se ha resuelto mediante botes sifónicos con sumidero en cada local húmedo y bajantes de PVC, que se conectan al saneamiento existente o a las arquetas y colectores que se han ejecutado.

2.6.3. Instalación eléctrica

Se ha instalado un nuevo cuadro general para el edificio, situado junto a la nueva escalera, que se alimenta desde el cuadro de distribución situado en el local del centro de transformación del edificio del patio principal.

Se dispone para ello un nuevo módulo en el cuadro general de baja del centro de transformación, conteniendo un interruptor general magnetotérmico de 4x320 A, del que parte una línea trifásica enterrada bajo tubo de 3,5x120 mm² Cu hasta el nuevo cuadro general del

edificio.

Desde este cuadro se alimentan, mediante interruptores automáticos, a los cuadros de planta, al de maquinaria de aire acondicionado, al de fancoils y al de ascensores, mediante líneas trifásicas, y desde éstos, mediante líneas monofásicas, a los circuitos de alumbrado, tomas de corriente e informática, protegiendo cada línea con sus respectivos interruptores magnetotérmicos y diferenciales.

La distribución general de las líneas se hace mediante canaletas de rejilla instaladas en el falso techo, sobre el pasillo central. Las bajadas a mecanismos y tomas de corriente se han realizado mediante tubos empotrados en los muros exteriores o tabiquerías.

El alumbrado se ha resuelto fundamentalmente mediante luminarias fluorescentes de 3x36 o 3x18 W empotradas en el falso techo de placas desmontables, y con luminarias compactas fluorescentes en zonas comunes. En aseos se ha optado por focos halógenos empotrados en el falso techo. Se ha instalado además un sistema de luminarias autónomas de emergencia y señalización, con baterías recargables, que se encienden en caso de corte del suministro eléctrico.

2.6.4 Instalación contra incendios:

Se ha dispuesto un sistema de detectores de incendio en techo, del tipo analógico, uno por cada habitación o local y en zonas comunes y un conjunto de pulsadores de emergencia, conectándose ambos a una nueva centralita, que se ha conectado a la central de alarmas de la Escuela.

Además se disponen los extintores manuales necesarios para que toda la superficie quede cubierta por esta instalación.

2.6.5 Instalación de cableado informático y de telefonía:

Se ha instalado un sistema de cableado para informática y comunicaciones con 130 puntos de conexión, dotados cada uno de dos tomas RJ-45, con cableado de clase 6 que discurre por tubos empotrados en la tabiquería y por bandejas horizontales de rejilla a lo largo de los pasillos y verticales por la nueva escalera hasta el rack de comunicaciones que se ha colocado en el despacho situado en el junto a la nueva escalera en planta primera.

2.7 EQUIPAMIENTO

En las obras realizadas solamente se ha incluido el equipamiento de los locales húmedos, (espejos y accesorios de baño) pero no el del mobiliario.

Se incluyen asimismo los equipos de seguridad contra incendios y de instalaciones exigidos por la normativa.

3. RELACION DE PLANOS

- 1.- Plano de situación y emplazamiento.
- 2.- Estado actual: Planta baja.
- 3.- Estado actual: Planta primera.
- 4.- Zona este, estado actual: Planta baja, entreplanta y cubiertas.
- 5.- Estado actual: Alzados.
- 6.- Estado actual: Secciones.
- 7.- Estado reformado: Planta baja – Arquitectura, cotas y carpintería.
- 8.- Estado reformado: Planta primera – Arquitectura, cotas y carpintería.
- 9.- Estado reformado: Zona este, planta baja, entreplanta y cubiertas –
Arquitectura, cotas y carpintería.
- 10.- Estado reformado: Planta de cubiertas.
- 11.- Estado reformado: Secciones.
- 12.- Estado reformado: Alzados.
- 13.- Estado reformado: Estructura planta baja.
- 14.- Estado reformado: Estructura zona este.- Escalera y cubierta.
- 15.- Estructura escalera y apeo de viga roblonada
- 16.- Estado reformado: Instalación de fontanería.
- 17.- Estado reformado: Planta baja: Instalación de saneamiento.
- 18.- Estado reformado: Zona este: Instalación de saneamiento.
- 19.- Estado reformado: Planta baja: Instalación eléctrica y contraincendios.
- 20.- Estado reformado: Planta primera: Instalación eléctrica y contraincendios.
- 21.- Estado reformado: Zona este: Planta baja, entreplanta y cubiertas:
Instalación eléctrica y contraincendios.
- 22.- Estado reformado: Nuevos cuadros eléctricos.
- 23.- Estado reformado: Planta baja: Instalación de climatización.
- 24.- Estado reformado: Planta primera: Instalación de climatización.
- 25.- Estado reformado: Zona este: Planta baja, entreplanta y cubiertas,
Instalación de climatización.

Madrid, Abril de 2.010

EL TCOL DEL CIP



Fdº: Félix González de la Campa