



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto  
Ingeniería  
Energética



ESCUELA TÉCNICA  
SUPERIOR INGENIEROS  
INDUSTRIALES VALENCIA

**TRABAJO FIN DE MÁSTER**  
**TECNOLOGÍA ENERGÉTICA PARA DESARROLLO SOSTENIBLE**

**“Propuesta de rehabilitación y  
análisis de viabilidad de un sistema  
geotérmico para el pretratamiento  
del aire de ventilación en un  
edificio de oficinas en Valencia”**

**AUTOR: OSORIO VARÓN, LUISA FERNANDA**

TUTOR: MONTAGUD MONTALVÁ, CARLA ISABEL

COTUTORES: CAZORLA MARÍN, ANTONIO

CORBERÁN SALVADOR, JOSÉ MIGUEL

**Curso Académico: 2017-18**

**“Septiembre 2018”**

“A ellos, pero, sobre todo

A él, te quiero”

“A veces,  
*la persona a la que nadie imagina capaz de nada  
es la que hace cosas que nadie imagina”*

-Descifrando Enigma



# RESUMEN

De acuerdo con los objetivos establecidos por la Directiva sobre Eficiencia Energética en Edificios (EPBD) adoptada en mayo de 2010, a partir del año 2020 todos los edificios de nueva construcción deben ser construidos bajo el concepto de edificio de consumo energético nulo o casi nulo (Near Zero Energy Buildings). A nivel energético, este tipo de edificios, tiene como requisito el uso de sistemas eficientes de generación de energía que utilicen fuentes de energía renovable.

El objetivo consistirá en reducir al máximo la demanda térmica de un edificio de oficinas ubicado en la Universitat Politècnica de València e intentar aproximarse a la definición de edificio de consumo energético nulo o casi nulo. En primer lugar, se realizará un estudio de los cambios que es necesario implementar en la envolvente del edificio para reducir lo máximo posible la carga térmica del mismo. A continuación, se analizará la viabilidad de instalar un intercambiador geotérmico para el pretratamiento del aire de ventilación en el edificio. En este sentido, se identificarán los distintos parámetros de diseño del intercambiador y se llevará a cabo un estudio de sensibilidad donde se seleccionará la geometría óptima desde un punto de vista tanto energético como económico.

**Palabras Clave:** edificios de consumo energético nulo, sistemas de pretratamiento de aire, energía geotérmica.

# RESUM

D'acord amb els objectius establerts per la Directiva sobre Eficiència Energètica dels Edificis (EPBD) adoptada al maig de 2010, a partir de l'any 2020 tots els edificis de nova construcció han de ser construïts sota el concepte d'edifici de consum energètic nul o gairebé nul (Near Zero Energy Buildings). A nivell energètic, aquest tipus d'edificis, té com a requisit l'ús de sistemes eficients de generació d'energia que utilitzen fonts d'energia renovable.

L'objectiu consistirà a reduir al màxim la demanda tèrmica d'un edifici d'oficines situat a la Universitat Politècnica de València i intentar aproximar-se a la definició d'edifici de consum energètic nul o gairebé nul. En primer lloc, es realitzarà un estudi dels canvis que cal implementar a l'envoltant de l'edifici per reduir el màxim possible la càrrega tèrmica del mateix. A continuació, s'analitzarà la viabilitat d'instal·lar un intercanviador geotèrmic per al pretractament de l'aire de ventilació a l'edifici. En aquest sentit, s'identificaran els diferents paràmetres de disseny de l'intercanviador i es durà a terme un estudi de sensibilitat on es seleccionarà la geometria òptima des d'un punt de vista tant energètic com econòmic.

**Paraules clau:** edificis de consum energètic nul, sistemes de pretractament d'aire, energia geotèrmica.

# **ABSTRACT**

According to the objectives established by the Directive on Energy Efficiency of Buildings (EPBD) adopted in May 2010, from the year 2020 all new buildings must be built in order to have a zero or almost zero energy consumption (Near Zero Energy Buildings). From the energy point of view, this type of buildings has as a requirement the use of efficient energy generation systems that use renewable energy sources.

The objective will be to reduce to the maximum the thermal demand of an office building located in the Universitat Politècnica de València and try to approach the definition of a building with zero or almost zero energy consumption. In the first place, a study of the changes that it is necessary to implement in the envelope of the building will be carried out in order to reduce the thermal load of the building as much as possible. Next, the feasibility of installing a geothermal heat exchanger for the pretreatment of the ventilation air in the building will be analyzed. In this sense, the different design parameters of the heat exchanger will be identified and a sensitivity study will be carried out where the optimum geometry will be selected from both an energetic and economic point of view.

**Keywords:** near zero energy buildings, air pre-treatment systems, geothermal energy.



# ÍNDICE

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....	1
1.1. MOTIVACIÓN .....	3
1.2. OBJETIVOS .....	4
1.2.1. Objetivo General .....	4
1.2.2. Objetivos del análisis .....	4
CAPÍTULO 2. NORMATIVA .....	5
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE .....	6
3.1 CRITERIOS DE DISEÑO. <i>PASSIVHAUS Y nZEB</i> .....	6
3.2 CONFORT. VENTILACIÓN .....	7
3.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR TIERRA-AIRE .....	8
3.3.1. Diseño del Intercambiador .....	9
CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO .....	12
4.1 EDIFICIO .....	12
4.2 SOFTWARE DE SIMULACIÓN .....	13
4.2.1. Modelo del Edificio .....	14
4.2.2. Modelo del intercambiador .....	15
4.2.2.1 Estudio de Sensibilidad .....	24
4.2.3. Combinación de los modelos .....	29
CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA .....	32
5.1 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO .....	32
5.1.1. Estanqueidad .....	32
5.2 VIABILIDAD DEL SISTEMA GEOTÉRMICO PARA EL PRETRATAMIENTO DEL AIRE DE VENTILACIÓN .....	39
5.2.1. Diseño de referencia y parámetros de diseño .....	39
5.2.2. Estudio de Sensibilidad .....	42
5.3 CONFORT Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN .....	45
5.3.1. Simulación Confort TRNSYS .....	47
5.4 ESTUDIO TECNICO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL .....	49
5.4.1. Estudio Técnico-económico .....	49



5.4.2. Estudio Medioambiental .....	50
CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	51
6.1 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO .....	51
6.1.1. Estanqueidad.....	51
6.2 VIABILIDAD DEL SISTEMA GEOTÉRMICO PARA EL PRETRATAMIENTO DEL AIRE DE VENTILACIÓN.....	59
6.2.1. Diseño de referencia y parámetros de diseño .....	59
6.2.2. Estudio de Sensibilidad.....	61
6.2.3. Diseño Final Propuesto .....	65
6.2.4. Análisis en diferentes climatologías .....	66
6.3 CONFORT Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	72
6.3.1. Sistema de Climatización. Bomba de Calor .....	72
6.3.2. Sistema de Climatización. Recuperador de Calor .....	73
6.4 ESTUDIO TECNICO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL.....	74
6.4.1. Estudio técnico-económico de las simulaciones.....	74
6.4.1.1 Estudio técnico-económico a diferentes climatologías .....	74
6.4.2. Estudio medioambiental de las simulaciones .....	75
CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES .....	77
CAPÍTULO 8. PRESUPUESTO .....	79
8.1 PARTIDA REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO .....	79
8.2 PARTIDA INTERCAMBIADOR DE CALOR TIERRA-AIRE .....	79
8.3 PARTIDA EQUIPOS PASIVOS .....	80
8.4 PARTIDA I+D .....	80
8.5 PRESUPUESTO TOTAL.....	81
CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA.....	83
CAPÍTULO 10. ANEXOS .....	87
ANEXO 1 ESTANQUEIDAD .....	87
ANEXO 1.1. Densidad Fuentes internas .....	87
ANEXO 1.2. Porcentaje y Orientación de los Acristalamientos.....	88
ANEXO 1.3. Cálculo del factor solar (g) .....	88
ANEXO 2 INTERCAMBIADOR ENTERRADO .....	90
ANEXO 2.1. Control Intercambiador .....	90
ANEXO 2.2. Estudio Paramétrico.....	90
ANEXO 2.3. Demanda Edificio de Referencia.....	92
ANEXO 3 PRESUPUESTO.....	93

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diseños bioclimáticos para la disminución de la demanda [Fuente: Icaen] .....	1
Figura 2 Definición de los nZEB a nivel europeo. [Fuente: BPIE] .....	2
Figura 3. Componentes Intercambiador de calor Tierra-Aire [20].....	8
Figura 4. Explicación gráfica parámetros diseño ICTA. ....	10
Figura 5. Plano del Departamento de Termodinámica Aplicada [6] .....	12
Figura 6. Modelo del Edificio [6] .....	14
Figura 7. Conexiones de compatibilidad. ....	15
Figura 8. PROFORMA del <i>type</i> 460. [35] .....	15
Figura 9. Ejemplo <i>type</i> 460.[35] .....	16
Figura 10. Ubicación del Edificio. Ejemplo <i>type</i> 460 .....	17
Figura 11. Esquema temperaturas. Ejemplo <i>type</i> 460.....	17
Figura 12. Archivo <i>Paradef</i> del Ejemplo. [35].....	18
Figura 13. Lateral (Y-Z) y Frontal (X-Z) del Edificio [35].....	20
Figura 14. Definición de DX, DY e DZ [35] .....	20
Figura 15. Número de nodo en el eje X(NI) [35] .....	21
Figura 16. Secuencia valores DX.....	21
Figura 17. Número de nodos en el eje Z(NK) [35] .....	21
Figura 18. Eje de Simetría del intercambiador [35] .....	22
Figura 19. Matriz Secciones.....	22
Figura 20. Matrices TypSoil. Superficie anterior y posterior del ICTA [35] .....	23
Figura 21. Matrices TypSoil. Sección 1 ICTA.....	23
Figura 22. Sección 2.....	24
Figura 23. Sección 3.....	24
Figura 24. Dependencia paramétrica a los ficheros externos.....	24
Figura 25. Longitud. Variando DX I.....	25
Figura 26. Longitud. Variando DX II.....	25

Figura 27. Longitud. Variando la cantidad de tubos .....	26
Figura 28. Profundidad. Variando DZ I .....	27
Figura 29. Profundidad. Variando DZ II .....	27
Figura 30. Diámetro. Variando DY y DZ.....	28
Figura 31. Diámetro. Variando DY y DZ, número de tubos .....	29
Figura 32. Modelo Final del TFM.....	30
Figura 33. $V_{ICTA\_Tout}$ .....	31
Figura 34. Solución estanca. Paramenta eléctrica interior [Fuente: Gob. Chile] [42].....	33
Figura 35 Solución estanca. Paramenta eléctrica exterior [Fuente: varios] [43]- [44] .....	34
Figura 36. Características Cristal. CalumenLive [48] .....	35
Figura 37. Estanqueidad Carpinterías [49].....	36
Figura 38. Métodos para la Rehabilitación de Edificios [50].....	36
Figura 39. Vista Aérea Jardín delantero Edificio 5J [Fuente: Google] .....	39
Figura 40. Vista Sureste Jardín Delantero Edificio 5J [Fuente: Google] .....	40
Figura 41. Restricciones Ubicación ICTA .....	40
Figura 42. Temperatura del Terreno [Fuente: Climate Consultant 6.0].....	41
Figura 43. Valores Comerciales Diámetro [Fuente: Saneamientos Gonzalo] .....	41
Figura 44. $PPD = f(PMV)$ .....	46
Figura 45. Rango de Temperaturas Operativas de Confort [Fuente: CBE] .....	46
Figura 46. <i>Typemanager</i> Confort .....	47
Figura 47. Creación Salidas <i>Building</i> .....	47
Figura 48. Definición del Confort. Creación Salidas <i>Building</i> .....	48
Figura 49. Emisiones de CO <sub>2</sub> . Generación de Electricidad [55].....	50
Figura 50. Demanda Térmica. Primera reducción infiltraciones.....	52
Figura 51. Zona Climática de Valencia.....	52
Figura 52. Carga interna en función de $C_{Fi}$ . Tabla A.1. DB HE-1. ....	53
Figura 53. Valores límite Apéndice D DB HE-1. ....	54
Figura 54. Demanda Térmica. Cambio Cristales y Segunda Reducción Infiltraciones .....	55
Figura 55. Demanda Térmica. Envolverte Térmica .....	57
Figura 56. Carga Térmica. Propuesta Rehabilitación Finalizada .....	58
Figura 57. Demanda Térmica. Intercambiador de Calor .....	60
Figura 58. Demanda Térmica. Respecto al Edificio y Cambio Denominación.....	60
Figura 59. Estudio de Sensibilidad. Profundidad.....	62

Figura 60. Estudio Sensibilidad. Diámetro .....	62
Figura 61. Estudio de Sensibilidad. Número de Tubos.....	63
Figura 62. Estudio de Sensibilidad. Ratio Ventilación .....	64
Figura 63. Estudio de Sensibilidad. Longitud .....	65
Figura 64. Demanda Térmica. Diseño Final.....	66
Figura 65. Demanda Térmica. Demanda Conjunta Climatologías.....	68
Figura 66. Horas Funcionamiento Control. Climatologías.....	69
Figura 67. Porcentaje de Ahorro. Tabla 2.2 DB-HE1 .....	70
Figura 68. Partida Presupuestaria de la Rehabilitación. ....	79
Figura 69. Partida Presupuestaria del ICTA.....	80
Figura 70. Partida presupuestaria para los Equipos Pasivos.....	80
Figura 71. Partida presupuestaria I+D.....	80
Figura 72. Partida I+D. Unidad Investigador Junior.....	81
Figura 73. Presupuesto Total .....	81
Figura 74. Presupuesto Total. Parte porcentual .....	82
Figura 75. Ejemplo acristalamiento Edificio .....	89
Figura 76. Factor de sombra: lamas. Tabla 14 DA.....	89
Figura 77. Absortividad marco. Tabla 11 DA.....	89

# ÍNDICE DE TABLAS

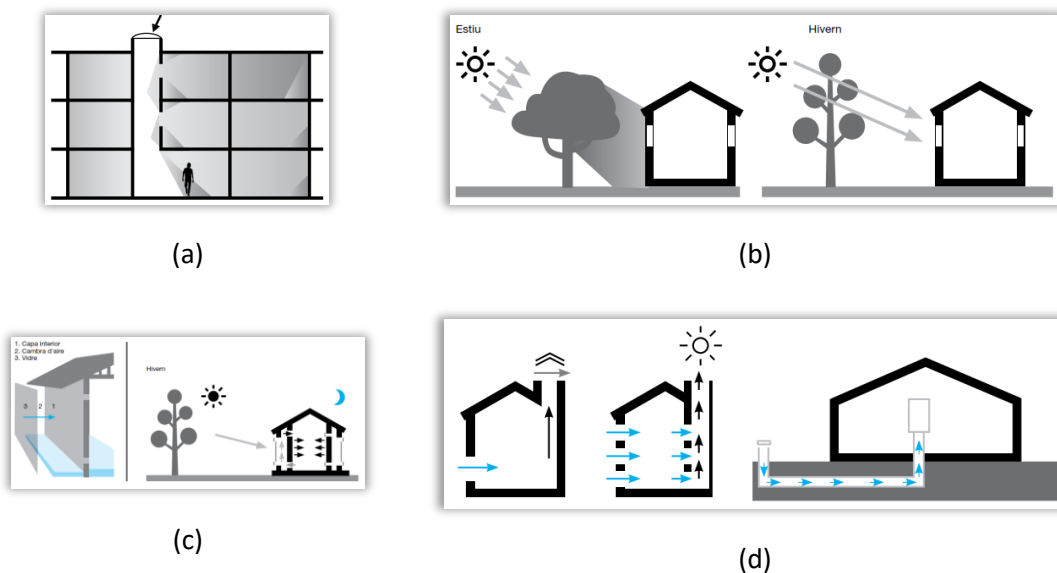
Tabla 1. Demanda límite Calefacción según CTE .....	7
Tabla 2. Rangos considerados. Parámetros .....	11
Tabla 3. Tiempo de Simulación .....	13
Tabla 4. Caudal Volumétrico RITE .....	42
Tabla 5. Valores Diseño de Referencia.....	42
Tabla 6. Metodología. Valores estudio de Sensibilidad .....	44
Tabla 7. Escala de Sensación Térmica .....	45
Tabla 8. Valores Determinar PMV [Fuente: CBE Thermal Confort Tool] .....	46
Tabla 9. Demanda Térmica. Primera reducción infiltraciones .....	52
Tabla 10. Características del Cristal.....	54
Tabla 11. Demanda Térmica. Cambio Cristales y Segunda Reducción Infiltraciones .....	55
Tabla 12. Valores de Transmitancia. Fachada Edificio .....	56
Tabla 13. Demanda Térmica. Envolverte Térmica.....	56
Tabla 14. Ventajas y Desventajas. Métodos de Aislamiento .....	57
Tabla 15. Carga Térmica. Propuesta de Rehabilitación Finalizada.....	58
Tabla 16. Demanda Térmica. Intercambiador de Calor .....	59
Tabla 17. Demanda Térmica. Respecto al Edificio Rehabilitado .....	60
Tabla 18. Parámetros Estudio de Sensibilidad. ....	61
Tabla 19. Estudio de Sensibilidad. Profundidad.....	61
Tabla 20. Estudio de Sensibilidad. Diámetro.....	62
Tabla 21. Estudio de Sensibilidad. Número de Tubos .....	63
Tabla 22. Estudio de Sensibilidad. Ratio Ventilación .....	63
Tabla 23. Estudio de Sensibilidad. Longitud.....	64
Tabla 24. Diseño Final Propuesto.....	65
Tabla 25. Demanda Térmica. Diseño Final .....	66
Tabla 26. Climatología. Severidad Climática .....	67
Tabla 27. Demanda Térmica. Edificio Inicial Climatologías.....	67

Tabla 28. Demanda Térmica. Edificio Rehabilitado Climatologías.....	67
Tabla 29. Demanda Térmica. Edificio Diseño Final ICTA Climatologías .....	67
Tabla 30. Demanda Térmica. Demanda Conjunta Climatologías.....	68
Tabla 31. Horas Funcionamiento Control. Climatologías.....	69
Tabla 32. Demanda Térmica. Edificio Objeto de Estudio CTE .....	69
Tabla 33. Cumplimiento Normativa Vigente.....	70
Tabla 34. Cumplimiento Estándar <i>Passivhaus</i> .....	70
Tabla 35. Confort. Rehabilitación.....	72
Tabla 36. Confort. Rehabilitación + ICTA.....	72
Tabla 37. Potencias Pico. Rehabilitación + ICTA.....	72
Tabla 38. Valores Financieros.....	74
Tabla 39. Estudio tecno-económico del Edificio Objeto de Estudio .....	74
Tabla 40. Estudio tecno-económico. Diferentes Climatologías .....	75
Tabla 41. Estudio tecno-económico. Diferentes Climatologías. Subvenciones .....	75
Tabla 42. Estudio medioambiental del Edificio Objeto de Estudio .....	76
Tabla 43. Densidades Fuentes Internas. [6] .....	87
Tabla 44. Horarios y porcentajes de uso. [6].....	87
Tabla 45. Porcentaje y Orientación cada zona.....	88
Tabla 46. Porcentajes y Orientaciones Totales .....	88
Tabla 47. Demanda Térmica. Control.....	90
Tabla 48. Parámetros Estudio Paramétrico.....	90
Tabla 49. Estudio Paramétrico. Calefacción.....	91
Tabla 50. Estudio Paramétrico. Refrigeración.....	91
Tabla 51. Estudio Paramétrico. Demanda Conjunta .....	92
Tabla 52. Demandas Térmicas. Edificios de Referencia CTE .....	92

# CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

La preocupación por el medio ambiente, el cambio climático y la crisis energética ha hecho que durante décadas los líderes de todo el mundo se hayan reunido para tomar medidas que regulen este tipo de problemas, ya sea: en los años setenta con la crisis del petróleo, donde se tomó verdadera conciencia sobre lo importante que es la racionalización de la energía, o el protocolo de Kyoto, donde se adoptaron medidas para reducir los gases de efecto invernadero, medidas que se vieron cumplidas sobre todo por la Unión Europea (UE).

Todas estas medidas se han visto reflejadas en diferentes Directivas Europeas o en Reales Decretos en España a lo largo de los años, la Directiva más reciente es la Directiva 2010/31/UE, la cual se enmarca dentro del objetivo 20/20/20 y que *fomenta la eficiencia energética de los edificios*. Dentro de este objetivo, se encuentra la implantación de los llamados edificios de consumo de energía casi nula o conocidos por sus siglas en inglés nZEB (nearly Zero Energy Building). Este tipo de edificios tienen un nivel de eficiencia energética muy alto y esto se debe, por ejemplo, a la poca o nula energía que demandan, además de que el edificio entra en armonía con el entorno, haciéndolo parte de él y no excluyéndolo, y sus fuentes de energía son de origen renovable.



**Figura 1 Diseños bioclimáticos para la disminución de la demanda [Fuente: Icaen]**

Como se aprecia en la Figura 1, en los edificios de consumo de energía casi nula la proyección arquitectónica y el medio en el que se va a construir son de máxima importancia, así como también lo son las normas o leyes que se deben considerar para la correcta construcción de éstos. A nivel europeo, países como: Dinamarca y Eslovaquia fueron los primeros en realizar una

definición oficial para este nuevo tipo de edificios y en establecer un indicador de comportamiento energético para el 2015, en la República Checa y Reino Unido esta definición se aplica solo para edificios residenciales.



**Figura 2 Definición de los nZEB a nivel europeo. [Fuente: BPIE]**

Como se puede ver en la Figura 2, la definición de los nZEB en el 56% de los países europeos es oficial, un 11% está en fase de aprobación y el 33% restante se encuentra en fase de desarrollo. Lo que sucede es que solo un 27% (8 de 27) han definido las exigencias para los edificios existentes, algunas de estas exigencias son más severas o no dependiendo del país, habiendo casos en donde los edificios existentes deben cumplir las mismas exigencias que los edificios nuevos o en donde se empieza por un grupo concreto de edificios para luego ir adaptándolos a los demás, que como se dijo anteriormente era el caso de República Checa y Reino Unido.

Todas las normativas a cumplir para reducir los gases de efecto invernadero y favorecer la edificación sostenible son de gran relevancia a nivel medioambiental, pero con vistas a futuro. El conflicto que tienen estas normativas es el actual parque edificatorio existente, que en valores de porcentaje y a nivel de la Unión Europea (UE), se estima que alrededor del 35% de ellos tienen 50 años de antigüedad, de este porcentaje se estima que el 75% no son energéticamente sostenibles. Por esto, el pasado mes de mayo de 2014, se aprobó la revisión de la Directiva sobre la Eficiencia Energética de los Edificios (por sus siglas en inglés: EPBD) en donde se incluirá medidas que aceleren la rehabilitación de los edificios antiguos, dicha aprobación puede tardar hasta 20 meses a ser traspuesta a la legislación nacional [1].

En el caso de España y según el Consejo Superior de Arquitectos de España, [2] *la definición de los requerimientos para los nZEB existentes y de nueva construcción está en fase de desarrollo*. Aun así, el marco reglamentario dictamina y cumple lo que dice la Directiva Europea sobre los edificios de nueva construcción, que deben de ser de consumo casi nulo a partir de 2020,



excepto los edificios pertenecientes a entidades públicas que deberán serlo a partir de 2019 y, además, deberían estar certificados tanto los nuevos como los edificios existentes. En España, los edificios de nueva construcción deben de cumplir, como mínimo, lo impuesto en el Código Técnico de la Edificación (CTE) y en el caso de rehabilitaciones, solo deben cumplir Código Técnico aquellas rehabilitaciones que superen el 25 % de la superficie útil del edificio y cuya superficie supere los 1000 m<sup>2</sup> también se obliga a aquellos edificios que tenga un cambio de uso y/o se les haga intervenciones.

### 1.1. MOTIVACIÓN

El hecho de ser parte contribuyente del cambio climático por ocupar edificios que tienen consumos energéticos elevados y sistemas de climatización poco eficiente y, a la vez, pertenecer al grupo de personas que han adquirido conocimientos y pensamientos *verdes o pasivos*, ha sido la principal motivación para el desarrollo de este trabajo.

En consonancia con lo dicho anteriormente y frente a la actual crisis energética y que el cuarto puesto, dentro de la UE, en pobreza energética lo tenga España [3], hace pensar que un mundo sostenible es cada vez menos posible, y si se le añade la escasa vinculación que tienen ciertas autoridades e incluso algunos ciudadanos, se obtiene una combinación casi armónica y poco posible de solventar. Afortunadamente, la implicación y concienciación de ciertos países, como Alemania con el *Estándar Passivhaus*, han hecho que ciertas leyes se hayan endurecido y que ahora se empiece a hablar de *Edificios de Consumo casi Nulo*, que como se dijo anteriormente, no solo competen a edificios Nuevos, sino a los existentes y es dentro de este parque inmobiliario, el de edificios existentes, donde se enmarca el presente Trabajo Final de Máster (TFM), pues no debe ser asertivo que la industria e institutos de investigación inviertan tiempo en mejorar los sistemas de climatización, se investigue en nuevas energías verdes o se optimice las que se utilizan actualmente para que den un confort mayor y que el consumo sea mínimo, cuando el hándicap de este consumo y/o confort se encuentra en la edificación objeto de la instalación, el cúmulo de edificios ineficientes y, en algunos casos, “enfermos” hacen que las ventajas que tienen todas estas prestaciones se vean eclipsadas por la “fuga” del aire climatizado, por el disconfort térmico que da tener un cerramiento mal aislado, el problema de las condensaciones en las paredes, entre otras.

Dentro de este contexto y motivado por la necesidad de realizar un TFM que acerque a la Universitat Politècnica de València a la sostenibilidad y a un mayor respeto por el medio ambiente, valores inculcados en el Master Universitario en Tecnología Energética para el Desarrollo Sostenibles (MUTEDS), se sitúa el presente TFM. Se parte de un edificio construido en los años 70 en dicha universidad, al que se le realizará un estudio estructural. Este estudio, por un lado, deberá cumplir los requisitos mínimos del CTE y, por el otro, se pretenderá adaptar a los requisitos de los *nZEB* y/o el *Estándar Passivhaus* [4]. Todo estas medidas se llevarán a cabo mediante el uso del software de simulación TRNSYS [5].

## **1.2. OBJETIVOS**

### **1.2.1. Objetivo General**

El siguiente Trabajo Final de Máster parte de un edificio existente, ubicado en la Universitat Politècnica de València, al cual se le realizarán mejoras para reducir la demanda térmica que tiene actualmente.

### **1.2.2. Objetivos del análisis**

El edificio seleccionado consiste en las oficinas pertenecientes al Departamento de Termodinámica Aplicada (DTRA). Las mejoras del edificio necesitan de un análisis previo de: la envolvente, las infiltraciones y la demanda térmica que tiene actualmente. Esto último ha sido el motivo para seleccionar este edificio, pues la demanda térmica ha sido monitorizada a lo largo de 11 años, de hecho, existe un modelo muy detallado del DTRA en TRNSYS, el cual ha sido validado experimentalmente en una tesis doctoral [6]. Una vez hecho este análisis, se procederá a implementar las modificaciones pertinentes a la envolvente para conseguir que cumpla los parámetros límite del Código Técnico de la Edificación (CTE). Seguidamente, se realizará un estudio de sensibilidad con el que se diseñará un Intercambiador de Calor Tierra-Aire (ICTA), el cual estará limitado por el espacio disponible que hay en frente de las oficinas del Departamento de Termodinámica Aplicada (DTRA), con el diseño final del ICTA se realizará un estudio de viabilidad en los climas más representativos de España. Finalmente, se comprobará el confort del edificio mediante los índices PMV y PPD, que concluirá en una propuesta para la mejora de éste.

## CAPÍTULO 2. NORMATIVA

La normativa que se aplica para los edificios de consumo casi nulo es la siguiente:

1. Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios. [7]
2. Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación energética de los edificios. [8]
3. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. [9]

Al estar relacionada con la eficiencia energética de los edificios, la Directiva 2010/31/UE define a los *Edificios de consumo de energía casi nula* como aquella construcción que tenga un nivel de eficiencia energético alto, entendiéndose *nivel de eficiencia alto* como aquella edificación cuya demanda energética sea cubierta por fuentes renovables.

Con respecto al RD 314/2006, el Código Técnico de la Edificación (CTE) contiene múltiples Documentos Básicos (DB), en concreto el Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE) [10], el cual alberga los requisitos básicos de ahorro de energía que deben de cumplir los edificios nuevos, que deberán ser de energía casi nula y estar certificados a partir del 2020, exceptuando aquellos que estén ocupados por entidades públicas, pues esto lo serán a partir del 2019. Por otro lado, y, con respecto a la rehabilitación de edificios, a lo largo de estas normativas se encuentran aplicaciones o aclaraciones, que competen de manera directa a los edificios existentes, pero desde el punto de mira de las “reformas importantes”, pues sólo cuando un edificio o parte de un edificio tiene una reforma de gran relevancia debe cumplir todos los requisitos mínimos.

A lo largo del presente trabajo, se han ido describiendo los diferentes apartados, normas o estándares que han ido conformando las diferentes propuestas de rehabilitación y estudio de viabilidad.

# CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

## 3.1 CRITERIOS DE DISEÑO. *PASSIVHAUS* Y *nZEB*

Dentro de la normativa vigente se habla de edificios de consumo casi nulo, cuyos requisitos límites deben ser calculados de forma que presente un coste óptimo y que, a su vez, tenga en cuenta los costes que va tener el edificio a lo largo de su vida [11], es decir, por lo general no se aprovecha completamente el potencial que ofrece la utilización de fuentes de energía alternativas que, sin importar su tamaño, deberían considerarse en todos los tipos de edificios, pues con ellas ante todo se podría asegurar una reducción de las necesidades de calefacción y refrigeración a unos niveles óptimos de rentabilidad [7]. Como consecuencia de esta consideración, la construcción de edificios de consumo casi nulo prima el uso de energías renovables a la vez que el coste económico, situación que no entra en resonancia con el estándar *Passivhaus*, que, a pesar de tener costes iniciales elevados, se ven compensados con el ahorro energético y el confort.

La legislación española es su Documento Básico de Ahorro de Energía (DB HE) [10] contiene los límites de demanda y consumo, según la zona climática, que debe tener un edificio, en contra posición a estos, se encuentran los parámetros de obligado cumplimiento del estándar *Passivhaus*:

4. Demanda final de calefacción y refrigeración=  $15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
5. Demanda de energía primaria total=  $120 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$
6. Infiltraciones =  $0,6 \text{ h}^{-1}$

Al comparar estos requerimientos con los de eficiencia energética del DB HE, es visible que para zonas climáticas donde el invierno es más severo<sup>1</sup>, como se aprecia en la Tabla 1 el límite de demanda de calefacción para la zona climática “E” es 2,6 veces mayor que en el estándar *Passivhaus*. Para el caso de la demanda de refrigeración es 1,3 veces mayor en zonas donde el verano es más fuerte. Lo que no ocurre con las demandas límites de calefacción y refrigeración para las zonas climáticas de invierno y verano menos severas, cuyo valor límite es 15 kWh/m<sup>2</sup>·año. Por otro lado, el valor de hermeticidad de la envolvente (que para proyectos de rehabilitación EnerPHit completa deben ser  $0.6 \text{ h}^{-1} < n_{50} \leq 1 \text{ h}^{-1}$  [12]) debe ser de  $0.6 \text{ h}^{-1}$ , que en

---

<sup>1</sup> Según el CTE, Severidad Climática es el cociente entre la demanda energética de un edificio en una localidad y la correspondiente al mismo edificio en una localidad de referencia. Actualmente, la localidad de referencia es Madrid y, por tanto, su severidad climática la unidad. Se define una severidad climática de verano (números) y otra de invierno (letras). A mayor valor en la escala de números/letras, más severo es el clima.

el caso de la legislación española tanto el valor como el término no se ven reflejados a lo largo del Código Técnico.

	Zona Climática de Invierno					
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Demanda límite Calefacción	$15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$	$15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$	$15 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$	$20 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$	$27 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$	$40 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^2 \cdot \text{año}}$

**Tabla 1. Demanda límite Calefacción según CTE**

Dentro de los criterios o indicadores de diseño que tienen el estándar *Passivhaus* y los *nZEB*, destacan los criterios de diseño del *Passivhaus*, que se encuentran muy bien definidos, pero en el caso de los *nZEB* dentro del contexto español, se encuentra en fase de desarrollo [2], y donde se están proponiendo valores indicativos para estos [13].

Los criterios del estándar *Passivhaus* son los siguientes [11]:

1. Aislamiento térmico
2. Ventanas de altas prestaciones
3. Ventilación con recuperación de calor
4. Hermeticidad del Edificio
5. Ausencia de puentes térmicos
6. Optimización de las ganancias solares y del calor interior
7. Modelización energética de ganancias y pérdidas

En el caso de los *nZEB*, y al ser una proposición, se siguió la metodología de la ISO 52000-1[14] pero cumpliendo las condiciones de eficiencia del DB HE [10], de la propuesta salen cuatro condiciones que se deben cumplir [13]:

1. Cumplir los valores límite de la envolvente según DB HE
2. Las demandas de calefacción y refrigeración deberían de ser menores que las del DB HE
3. Consumo de Energía primaria debe ser menor que la del caso óptimo
4. Según las 3 condiciones anteriores su coste debe estar en la mitad inferior de los casos<sup>2</sup>

Al ser valores propuestos, la definición correcta de estos es poco intuitiva, pero sigue reflejando la ausencia de ciertos criterios constructivos, por dar un ejemplo: al tener valores más exigentes se entiende que los puentes térmicos tendrán una repercusión alrededor del 10% [13], lo que no denota una ausencia de éstos.

### 3.2 CONFORT. VENTILACIÓN

La construcción o rehabilitación de un edificio no solo se regula por la disminución de la demanda energética o de los gases de efecto invernadero, también por el confort que se le da al usuario.

Los valores que determinan el bienestar térmico del usuario dentro del local son los índices PMV y PPD, aparte de estos índices [15], la ventilación y la calidad del aire de ventilación vienen

<sup>2</sup> En este contexto, los casos se refieren a un subconjunto denominado región de interés y sobre el que se está haciendo el estudio de los valores propuestos [13].

condicionados, en el caso de la legislación española, por el RITE [16] y por el Documento Básico de Salubridad DB HS [17], la importancia de estas condiciones se debe a la renovación del aire interior del edificio, pues tener un aire que se encuentre en condiciones de temperatura, humedad relativa y velocidad óptimas pero que esté *viciado*, puede producir una reducción en el bienestar del usuario, esto entra en discrepancia con la demanda energética, pues se está reemplazando un aire que está en las condiciones térmicas deseadas por otro que viene del aire ambiente y al que se debe tratar nuevamente, hasta llegar a las condiciones térmicas previas.

Para reducir la demanda energética, se utilizan recuperadores de calor, que precalientan el aire exterior al entrar en contacto con el aire interior. Los recuperadores de calor no solo se utilizan para precalentar el aire, en el caso del estándar *Passivhaus*, y al ser edificios muy herméticos, como se ha dicho anteriormente, necesitan que haya una renovación del aire cada cierto tiempo. Otro método para la renovación del aire interior es el Intercambiador de Calor Tierra-Aire (ICTA o más conocidos por su siglas en inglés EAHE), estos intercambiadores son una de las tantas soluciones bioclimáticas que tienen los *nZEB*, como se ve en la Figura 1.d, además de ser una opción para la renovación del aire en el estándar *Passivhaus*.

### 3.3 INTERCAMBIADORES DE CALOR TIERRA-AIRE

Dentro de las aplicaciones que tiene la energía geotérmica, se encuentra la de muy baja temperatura (10°C-30°C), a profundidades comprendidas entre 0 – 10 metros la influencia de las condiciones es notoria, siendo más influyentes a medio metro de profundidad. Por otro lado en profundidades superiores a 20 metros, la temperatura comienza a aumentar a razón de 15-30°C/km [18]-[19]. A estas profundidades (0 a 10 metros), los intercambiadores de Calor Tierra-Aire o también llamados pozos provenzales o canadienses<sup>3</sup> suelen ser instalados.

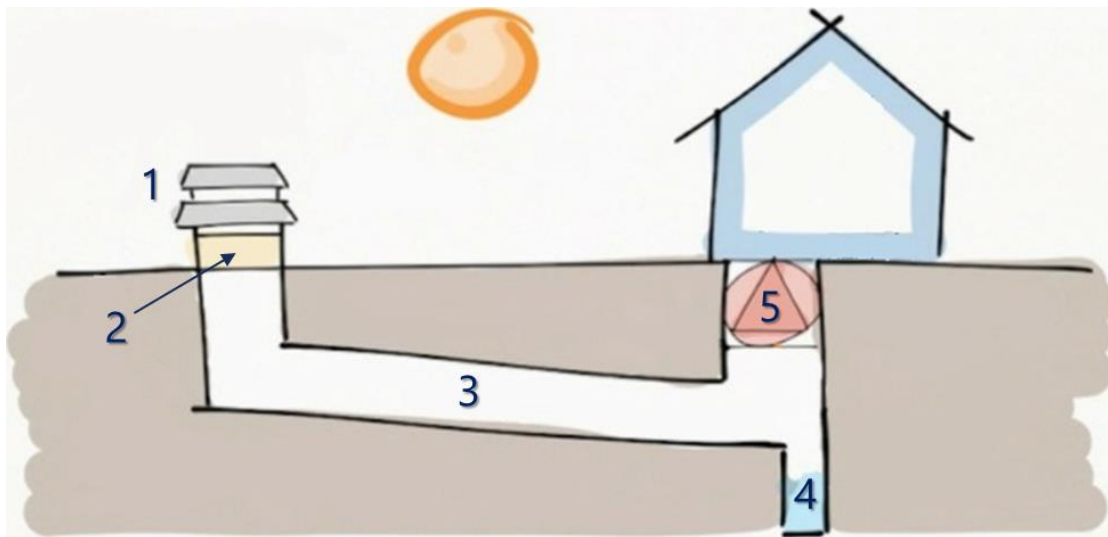


Figura 3. Componentes Intercambiador de calor Tierra-Aire [20]

<sup>3</sup> Se les denomina pozos provenzales o canadienses cuando el aire de entrada se utiliza para refrigerar o para precalentar el aire, respectivamente [21].

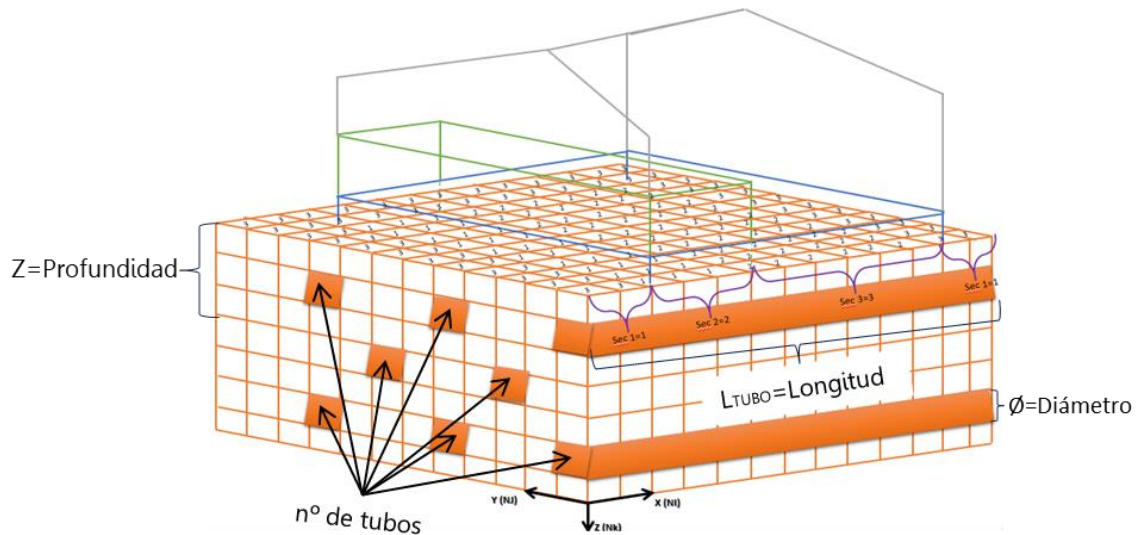
Como se aprecia en la Figura 3, los pozos provenzales están compuestos por Figura 3. Componentes Intercambiador de calor Tierra-Aire [20][21][18][20][22]:

1. Captación del aire. Ésta se debe realizar en entornos donde haya movimiento del aire constante para evitar la captación de aire contaminado. Además, en la corteza terrestre de manera natural se genera el gas radón, que al ser más pesado que el aire se acumula en zonas bajas y donde la circulación del aire es pobre, de esta problemática se parametriza la altura de captación del aire entre un metro o metro y medio por encima de la superficie.
2. Filtros. Al tener la captación del aire a alturas de fácil acceso para insectos, pájaros o roedores, se recomienda la puesta de rejillas o filtros, que eviten este acceso y la posible contaminación del sistema. Asimismo, los filtros purifican el aire de entrada evitando que la suciedad y el polvo accedan a los tubos.
3. Intercambiador. Es el componente más importante del ICTA, a grandes rasgos, está compuesto por una cierta cantidad de tubos, que deben tener una inclinación de entre 2-3%, esta inclinación es importante debido a las condensaciones que suceden dentro de los conductos.
4. Pozo de drenaje. Están en la parte menos inclinada del intercambiador para favorecer la caída del agua de condensación, normalmente está conectado a las aguas grises del edificio o se hará en el exterior del edificio y que tenga fácil acceso para realizarle una limpieza periódica.
5. Circulación del aire. Para favorecer la circulación del aire por dentro de las tuberías se pueden instalar elementos activos (ventiladores) o pasivos (chimenea solar).

### 3.3.1. Diseño del Intercambiador

Las variables que se deben tener en cuenta para el dimensionado del intercambiador son múltiples y de gran relevancia, siendo en algunos casos importante estudiar dos variables simultáneamente, por la dependencia que puede tener una sobre otra en el estudio paramétrico [23]. A parte de los conductos, por donde transcurrirá el aire de ventilación, otro parámetro que es de gran relevancia en el dimensionado de los ICTA es la conductividad del suelo, de ésta dependerá que el rendimiento del intercambiador sea eficiente. Razón por la cual, la conductividad del suelo debe ser alta, pues tienen un alto rendimiento y las temperaturas no se ven penalizadas en el caso de tener intercambiadores que tienen altas horas de funcionamiento [24]. Estas altas horas de funcionamiento se deben a una operación continua o intermitente del intercambiador, por lo que se recomienda el uso intermitente en intercambiadores que se utilizan durante el día y la noche, así durante la purga hay una recuperación del calor [25].

Los parámetros que se deben tener en cuenta en diseño de un Intercambiador de Calor Tierra-Aire (ICTA) son: longitud, diámetro de tuberías, profundidad y el flujo de aire, estimándose que para una correcta predicción de los datos es mejor utilizar la temperatura ambiente, en lugar de la humedad relativa o la radiación solar global [26]. Aun así, en la Figura 4 se ha expuesto de manera gráfica dónde se encuentran estos parámetros en el ICTA.



**Figura 4. Explicación gráfica parámetros diseño ICTA.**

Vista la situación de cada uno de los parámetros que componen el ICTA, se procede a explicar la importancia de cada uno de ellos. La longitud es una variable que, al incrementarse, aumenta la capacidad térmica del sistema. En los primeros 20 metros de longitud se observa una reducción en la capacidad térmica, lo que le hace tener una eficiencia del 60% en estos 20 primeros metros. Para intercambiadores con longitudes de 40 metros la eficiencia aumenta un 24% con respecto al de 20 metros y para longitudes de entre 60 u 80 metros esta eficiencia se empieza a moderar. Por ello, se determina que para longitudes superiores a 70 metros, el aporte a la eficiencia del sistema es mínimo [23], [24], [27]–[29]. El siguiente parámetro es el diámetro, el cual se debe considerar conjuntamente con el ratio de flujo de aire, debido que, al reducir el diámetro de la tubería, se aumentará el de aire dentro de ésta, resultando en un aumento de la temperatura de salida del intercambiador y reduciendo así la capacidad térmica de éste. Aunque el rango de diámetros estudiado es bastante amplio, entre 0.062m y 0.4m, suele ser el de 0.2m el que se elige con más frecuencia [20]. Al igual que la conductividad del suelo es un factor importante a tener en cuenta, también lo debe ser la profundidad a la que estará el ICTA, pues a mayor profundidad la temperatura del suelo es más estable y los costes de excavación son mayores, siendo este parámetro en muchos casos determinista a la hora de elegir o no la profundidad de excavación. Normalmente, el rango de profundidades a las que se llega con este tipo de instalación no suelen ser mayores de 6m, teniendo en cuenta que en el primer par de metros no son muy efectivos y esto se debe a las oscilaciones de la temperatura ambiente y la radiación solar en la superficie del suelo [23], [28], [30].

Otro par de parámetros a tener en cuenta en el diseño de Intercambiadores de Calor Tierra-Aire es el espacio entre tubos y la posición del intercambiador. Para el espacio entre tubos, de acuerdo a la literatura consultada, la distancia de 0.5 a 1.5m no tiene ninguna repercusión a la temperatura de la salida del intercambiador [30] de hecho, al evaluar la transferencia de calor del aire que pasa por el tubo hacia el terreno, se ha observado que a distancias radiales de 0.1m y/o 0.2m la transferencia de calor entre el aire y el suelo no puede penetrar más de dichas distancias [24]. Finalmente, la posición del intercambiador en horizontal o vertical se evaluará para intercambiadores que tienen más de dos tubos, teniendo estas profundidades diferentes repercusiones en la demanda o temperatura de entrada al sistema de ventilación del edificio. Aunque comercialmente se conoce a los ICTA en su posición horizontal, la posición en vertical



tiene una ventaja con respecto a la horizontal y se debe a que a mayor número de tubos, más profundos estarán éstos con lo que el tubo más profundo estará rodeado de una temperatura más constante que el menos profundo, proporcionando esto último un aumento de la capacidad térmica del intercambiador [30], [31], en contra de esto se tienen el factor económico, pues a mayor profundidad de la zanja, mayor el coste de excavación.

	Z [m]	$\varnothing$ [mm]	nº tub	$\dot{m}_{RITE}$ [m <sup>3</sup> /h]	L <sub>tubo</sub> [m]
Rangos	3 - 6	62 - 400	$f(L_{TUBO})$	$f(\varnothing)$	20 - 80

**Tabla 2. Rangos considerados. Parámetros**

A modo de resumen, en la Tabla 2 se enseñan los rangos de valores que tienen los diferentes parámetros en el diseño de un ICTA y que se han comentado durante todo este capítulo.

# CAPÍTULO 4. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

Con el motivo de tener una mejor percepción de los estudios y propuestas que se realizarán a lo largo de este TFM, se debe partir del conocimiento del edificio y software que se está utilizando. A continuación, se realizará una descripción del edificio que va a ser objeto de estudio y del programa o software con el que se realizarán las propuestas y estudios de viabilidad de los cambios a realizar en la envolvente del edificio [6] y del Intercambiador de Calor Tierra-Aire, ICTA.

## 4.1 EDIFICIO

El edificio se encuentra ubicado dentro de la Universitat Politècnica de València, en concreto este TFM se centrará en el Departamento de Termodinámica Aplicada (DTRA), que pertenece al edificio 5J. Dicho departamento está compuesto por 9 oficinas y dos salas, como se muestra en la Figura 5, los cuales actualmente están siendo climatizados por un sistema de bomba de calor geotérmica construida en el marco del proyecto GeoCool [32].

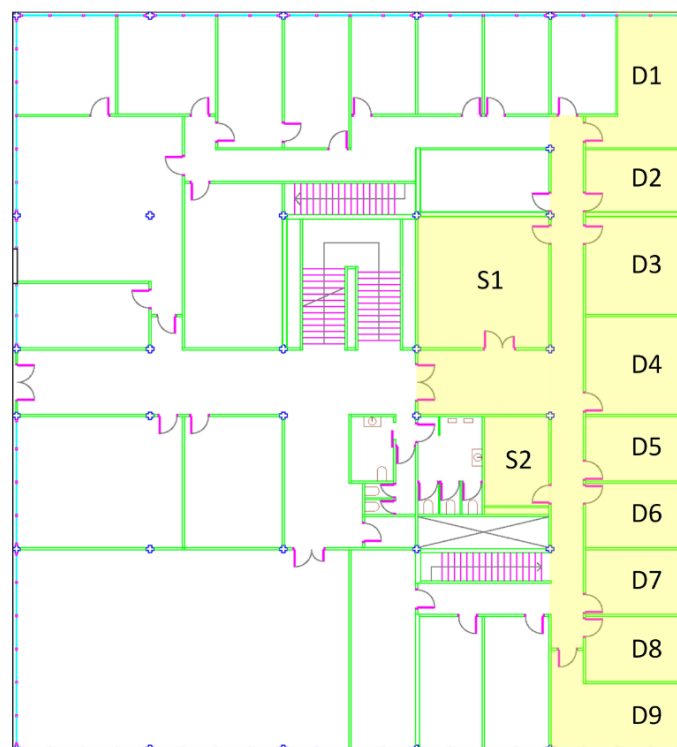


Figura 5. Plano del Departamento de Termodinámica Aplicada [6]

El departamento se encuentra en la segunda planta del edificio 5J, los nueve despachos están alojados en el ala este del edificio y las salas de ordenadores (S1) y de servicio de fotocopiadora

y material de oficina (S2) en el centro del edificio. El edificio tiene una fachada que está compuesta por materiales constructivos diferentes, de ahí que los despachos 3, 4, 5 y 6 tengan unas características diferentes a la de los despacho 1, 2, 7, 8 y 9 y cuyo valor de transmitancia está especificado en la Tabla 12 como “Ed. Actual”. Las características térmicas y orientación de las ventanas se encuentran en las Tabla 10 del apartado 6.1.1. Estanqueidad y Tabla 45 del ANEXO 1.1. Densidad Fuentes internas, por último los valores de ocupación, iluminación y equipos se encuentran en la Tabla 43 del ANEXO 1.2. Porcentaje y Orientación de los Acristalamientos, que se necesitarán para el cálculo de cargas internas del edificio. [6]

#### 4.2 SOFTWARE DE SIMULACIÓN

El software de simulación que se ha utilizado es el TRNSYS [5], cuyas siglas vienen de TRansient SYstems Simulation, este programa da la facilidad de formar diferentes uniones de componentes, los cuales se comportan como cajas negras. Estos componentes o *types* están compuesto por una serie de parámetros de entrada, más conocidos como *inputs*, al entrar dentro de esa caja negra, que son los *types*, arrojan unos *outputs* o variables de salida. La creación de los diferentes modelos se hace de manera “intuitiva”, pues los valores de salida de un *type* a, se convierta en los valores de entrada de un supuesto *type* b. La complejidad de este programa se debe a que, para cada paso de tiempo, todas las variables deben converger en un valor constante, por ello se deben utilizar valores iniciales, por decir algo  $v_0$ , que se aproximen a la realidad, pues estos valores iniciales son los que se tomarán para el tiempo inicial, por ejemplo,  $t=0$ , al entrar en el *type* dará unos valores, por ejemplo,  $v_1$ , que se convertirán en los valores iniciales para el tiempo  $t=1$  y así sucesivamente.

TRNSYS tiene una gran diversidad de características, las cuales pueden ser utilizadas por el usuario de acuerdo con la complejidad al modelo al que se enfrenta. Por un lado, se encuentra el tiempo de simulación, pues TRNSYS da la posibilidad de ajustarlo al valor que más se adecue al proyecto, en este caso en concreto, y como se verá en las siguientes secciones, se está trabajando con un fluido tan complejo como lo es el aire, el cual es variable en cada instante de tiempo, por lo que su tiempo de simulación, o *TimeStep*, debe entrar en armonía entre valores que se acerquen bastante a la realidad y el tiempo material que conlleva cada simulación.

	Heating [kWh]	Cooling [kWh]	Heating [%]	Cooling [%]	Tiempo material
1 min	9904	7665	0.0	0.0	40 min
5 min	9883	7660	-0.2	-0.1	15 min
30 min	9767	7659	-1.4	-0.1	7 min
1 h	9616	7650	-2.9	-0.2	5 min

**Tabla 3. Tiempo de Simulación**

Como se puede ver en la Tabla 3 y teniendo como base 1 minuto, que es el tiempo de simulación que se utilizó en el trabajo de Ruiz Calvo[6], se muestra que la pérdida de datos es menor del 1% para tiempos de simulación de 5 minutos pero lo que tarda en realizar cada simulación es un 63% menor que al utilizar un tiempo de simulación de 1 minuto. Para el resto de casos y a pesar que el tiempo material es muy inferior, la pérdida de precisión en los resultados es de un 3%. Por otro lado, una herramienta que es de gran utilidad a la hora de realizar, por ejemplo, estudios de sensibilidad de varios parámetros es el TRNEdit [33]. Sin embargo, tal y como se verá

en el apartado 4.2.2. Modelo del intercambiador, la complejidad de éste supone el no uso de esta herramienta. Esta sección consiste en varias subsecciones: en primer lugar, se presentará el modelo del Edificio [6], el cual incluirá el calendario de funcionamiento del departamento y las condiciones ambientales, y se finalizará la introducción de componentes con el intercambiador de calor, que contendrá las condiciones ambientales, del terreno y diseño del intercambiador.

#### 4.2.1. Modelo del Edificio

Como se ha comentado anteriormente, el DTRA es el departamento objeto de estudio de este TFM, este departamento está modelado y validado en trabajos previos [6]. Durante este apartado, se hará un pequeño resumen del modelo validado en dicha tesis. Lo esencial de este modelo se encuentra en la importancia de conseguir las condiciones de funcionamiento reales del sistema con el uso de diferentes *types*, por ello ha sido importante introducir las condiciones meteorológicas y los diferentes horarios de funcionamiento que tiene el edificio, el cual forma parte de una institución educativa por lo que se deben contemplar las diferentes festividades y vacaciones que tienen. Al crearse los diferentes horarios, se ha utilizado la herramienta de simulación de Edificios TRNBuild [34], esta herramienta o complemento del TRNSYS tiene gran relevancia en el marco de este Trabajo Final de Máster, pues es en ella donde se encontrarán los datos constructivos del edificio, los de infiltraciones, las diferentes ganancias internas y los diferentes regímenes de refrigeración y calefacción que tendrá el edificio.

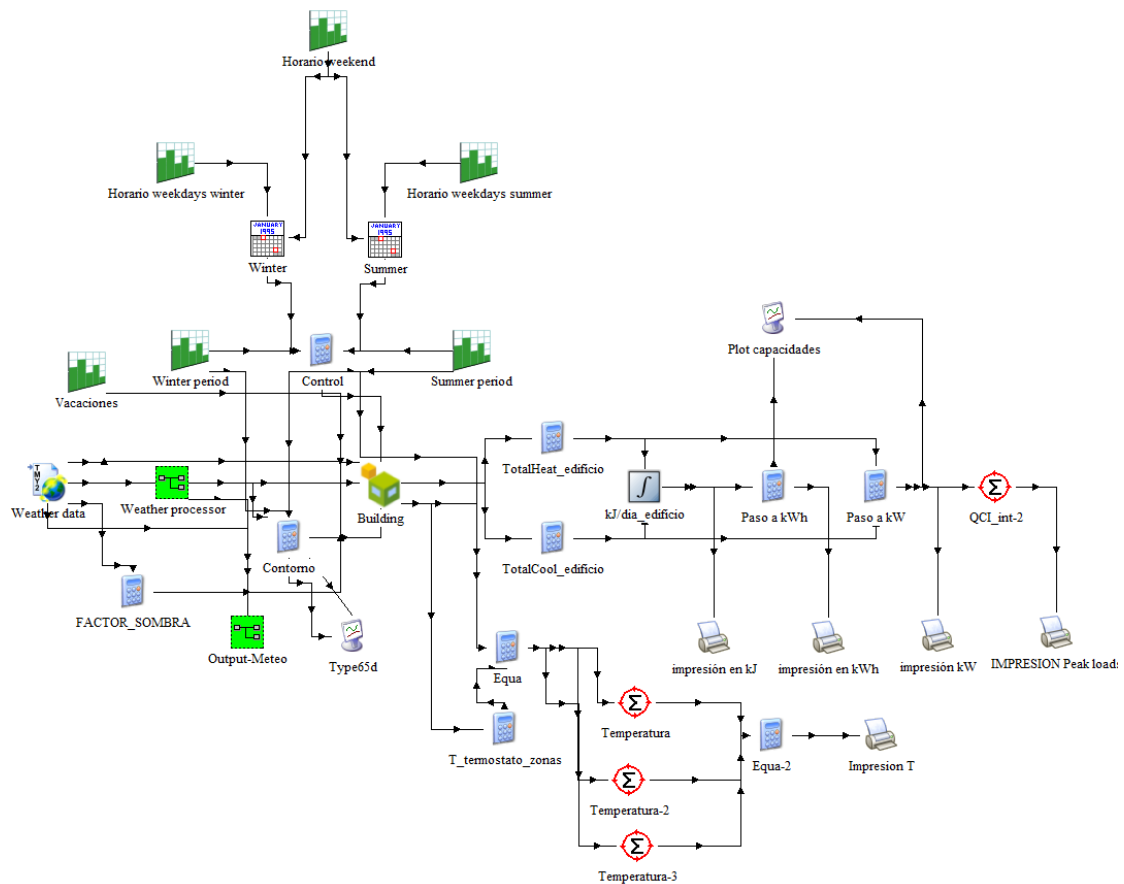
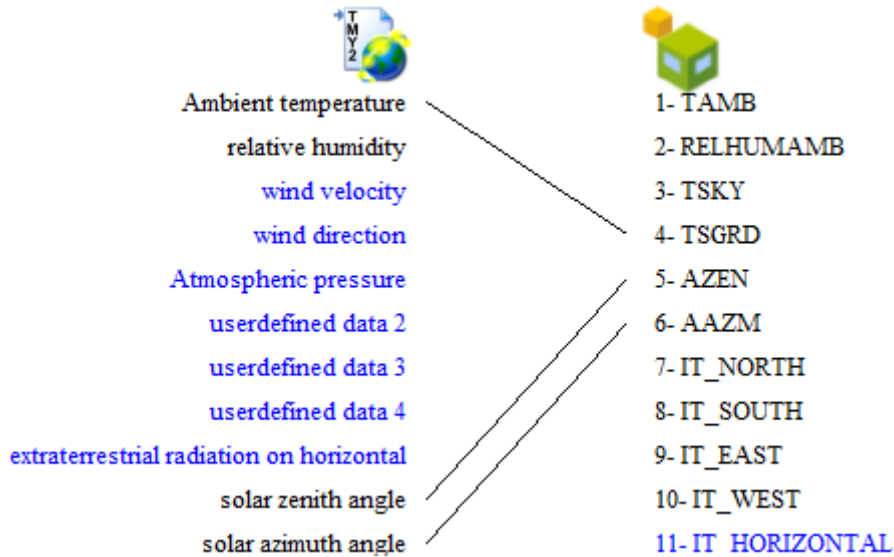


Figura 6. Modelo del Edificio [6]

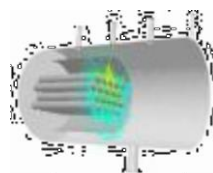
Este modelo, que se muestra en la Figura 6, se realizó con la versión 16 del TRNSYS y este TFM se realizó con la versión 17, pues es a partir de ésta que el *type* 460 se puede ejecutar. Para trabajar correctamente con el modelo heredado, se han realizado las conexiones que pedía TRNSYS 17 y que se muestran en la Figura 7 para depurar cualquier tipo de error que pueda aparecer al realizar las simulaciones del edificio.



**Figura 7. Conexiones de compatibilidad.**

#### 4.2.2. Modelo del intercambiador

Para realizar el estudio de viabilidad de un Intercambiador de Calor Tierra-Aire para el pretratamiento del aire de ventilación en el DTRA, se debe realizar el uso del *type* 460 [35]. Como se ha explicado con antelación, los *types* son cajas negras a las que se le introducen una serie de datos y dan como resultados otros, la complejidad con la que se enfrenta este *type* es el uso de dos archivos externos, llamados: *Paradef.par* y *Paracon.con*.



**Figura 8. PROFORMA del *type* 460. [35]**

Estos dos archivos, que se deben insertar dentro de la pestaña “External Files” del *type*, llevan toda la información correspondiente al diseño del intercambiador, por ejemplo, las propiedades del suelo y de los tubos del intercambiador, además de los parámetros de control. La edición de los parámetros de diseño del intercambiador resulta intuitiva, una vez que se entiende el embrollo de la parametrización que sigue el *type*. Para esta comprensión, se desmenuzó el ejemplo que viene dentro del *type* 460, siendo éste totalmente distinto al que se utiliza en el *Mathematical Reference* del *type* y, en consecuencia, al que se propondrá en este trabajo.[35]

En la Figura 9, se ve una combinación del modelo del intercambiador con el edificio y una leyenda, donde se explica que el edificio de estudio tiene 10 oficinas pero que se trabajará sólo con una para simplificar el modelo.

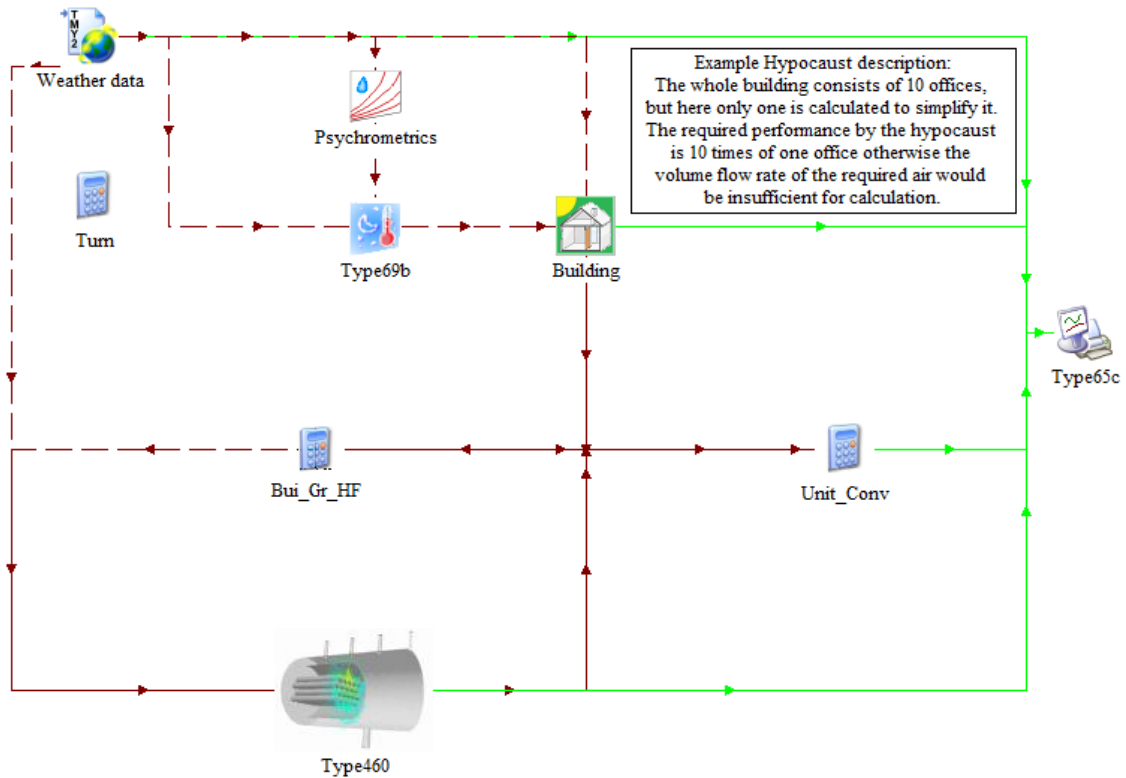


Figura 9. Ejemplo type 460.[35]

Para entender cada una de las cajas negras o *types* de las que está compuesto este ejemplo se iniciará con las calculadoras o *calculate*, que son el nombre que reciben dentro del entorno de simulación, se explicará el uso del *Weather data* y, finalmente, se explicará la repercusión que tiene el edificio dentro del *type 460*, del cual se detallará el uso de sus ficheros externos.

De las tres calculadoras que se observan en este modelo, la titulada "*Unit\_Conv*" se encarga de convertir los kJ/h de salida del *type 460* en kW, la calculadora "*Turn*" es la que se genera al utilizar el complemento TRNBuild en un proyecto de TRNSYS y sirve para modificar la orientación del edificio. Para finalizar, la calculadora "*Bui\_Gr\_HF*" es la responsable de conectar, en este proyecto, el *Building* con el *type 460*, pues como se expone en la Figura 10, en el proyecto el ICTA se encuentra por debajo del Edificio, teniendo así que conectar estos dos *types* para que las simulaciones tengan en cuenta la transferencia de calor que emite el edificio al intercambiador.

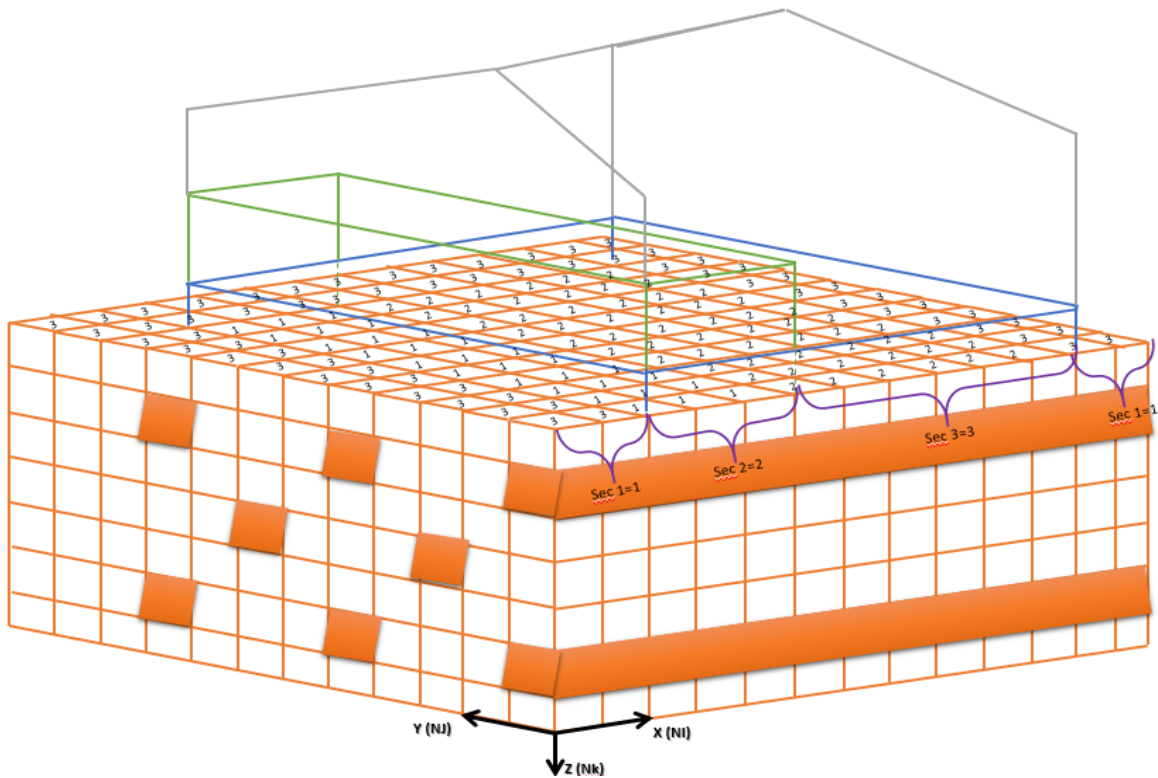


Figura 10. Ubicación del Edificio. Ejemplo *type 460*

Pues la temperatura con la que se hará intercambio será la del edificio o la *TGRBase* y no con la resultante de la radiación solar, que sí es el caso de este TFM. El *Weather data* se utiliza con el fin de tener la temperatura y humedad relativa del ambiente que se introducirá en el intercambiador y, además, las diferentes repercusiones que tiene la radiación solar sobre el edificio y éste sobre el intercambiador de calor.

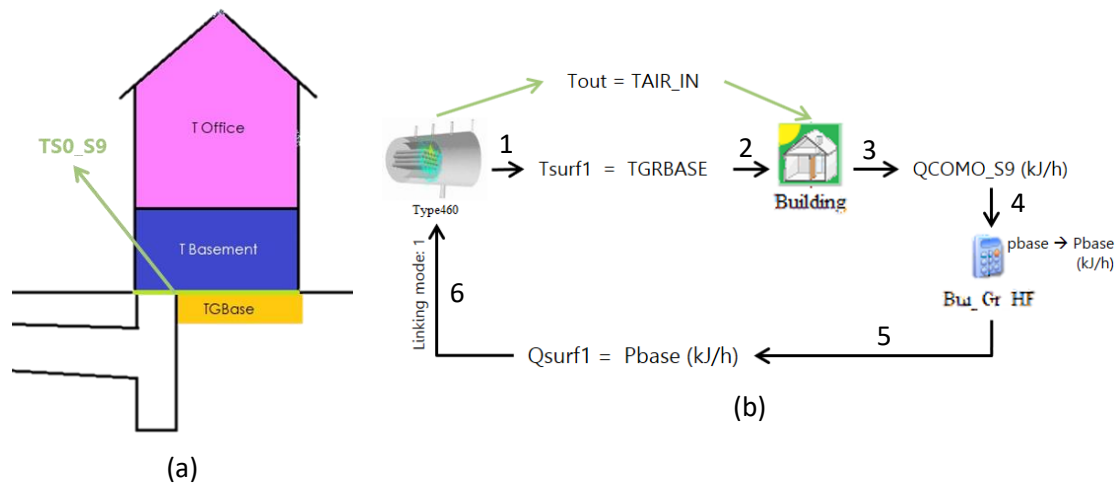


Figura 11. Esquema temperaturas. Ejemplo *type 460*

Como se puede ver en la Figura 11, la temperatura que combina el *type 460* y el *Building* es la *TGRBase*, que sale del intercambiador como *Tsurf1*. La transferencia de calor que da el edificio al ICTA, vienen dada por la superficie 9 o suelo del sótano del Edificio y que vienen definidas por las flechas 3-5; la importancia de estos esquemas se encuentra en el *input* del *type 460*, *Qsurf1*, y en su salida, *Tsurf1*, pues para que el intercambiador devuelva ese valor en forma de

temperatura, se le debe indicar que en la superficie 1 entrará un calor, Q, del cual se obtendrá una temperatura, T, el cual interactuará con el suelo del sótano y esta indicación se hace por medio del "1" que se observa en la flecha 6. Si, por el contrario, lo que se tiene es una temperatura y se necesita el calor que emite, se debe *linkar* o vincular con un "0". Una vez se ha explicado uno de los parámetros que se deben introducir en la pestaña "Parameter" del type 460, se comienza con la explicación de los ficheros externos de éste, que son llamados desde el type 460 como los parámetros LU parameter file y LU control file, que se corresponden al *Paradef* y al *Paracon*, respectivamente.

```

* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  2  3  2  2  13 12 7

* DX [m]:
  2.0000E+00  2.0000E+00
  1.0000E+00  1.0000E+00  1.0000E+00
  0.6666E+00  0.6666E+00  1.0000E+00
  1.0000E+00  1.0000E+00  1.0000E+00
  2.0000E+00  2.0000E+00

* DY [m]:
  2.0000E+00  2.0000E+00  0.6000E+00  0.4000E+00
  0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00
  0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00  0.2000E+00

* DZ [m]:
  0.4000E+00  0.2000E+00  0.2000E+00  0.2000E+00
  0.2000E+00  0.2000E+00  0.4000E+00

* TypSec [-]:
  1  1  2  2  2  2  2  2  2  2  2  1  1

* TypSoil for front surface [-]:
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

* TypSoil for sec# 1 (through ambient) [-]:
  2  2  2  2  2  2  2  2  2  2  2  2
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

* TypSoil for sec# 2 (through both zones) [-]:
  2  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  0  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  1  0  1  1  1  1  0  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  0  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

* TypSoil for sec# 3 (through setpoint-zone only) [-]:
  2  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  0  1  1  1  1  0  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  0  1  1  1  1  1  0  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  1  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

* TypSoil for rear surface [-]:
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0
  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0  0

* PosInf [-]:
  1  1  1  9  12  7

* Kair0 [kJ/K m2],Kair1 [(kJ/K m2)/(m/s)]:
  0.1800E+02  0.1400E+02

* LamSoil [kJ/K m], CvSoil [kJ/K m3]:
  0.5400E+01  0.1000E+04
  0.7200E+01  0.1000E+04

* LamTub [kJ/K m], CvTub [kJ/K m3]:
  0.7200E+01  0.1000E+04

* ThTub [m], CtubCor [-], Cfric [-]:
  5.0000E-03  0.8862+00  2.0000E-02

* TypWatFlow [-], Vwat [m/h]:
  1  1  1
  0.0000E+00  0.0000E+00  0.0000E+00

* NiniSoil,NiniWat [-]:
  2  1

* TiniSoil [degC], PosIniSoil [-]:
  0.1500E+02
  0.1000E+02  3  3  1  11  12  7

* ThIniWat [m], PosIniWat [-]:
  0.0000E+00

* Nopt [-]:
  17
    
```

Figura 12. Archivo *Paradef* del Ejemplo. [35]

En la Figura 12, se ve gran parte del contenido que tiene el fichero de parámetro del type 460 y que se explicarán a continuación pero, antes de iniciar con esto, se debe aclarar que el fichero de control es un archivo de escritura, es decir, que transcribe todo lo que lee en el fichero paramétrico con la diferencia, que al final del fichero de control, se encuentran, por ejemplo, la profundidad, la longitud y el número de tubos que se tiene en el intercambiador.



La explicación del fichero paramétrico se iniciará con una definición a grandes rasgos de cada uno de los parámetros que intervienen en él.

Nmod: Es el número de módulos que tiene el intercambiador e indica si hay simetría o no, se utiliza para intercambiadores que son muy grandes pues el *type 460*, como todos los programas de simulación, tiene un número finito de variables que puede simular.

Nsec: Es el número de secciones por las que va a pasar el tubo.

Nsoil: Es el número de suelos que atravesará el tubo.

NI: Es la cantidad de nodos que se encuentran en el eje "x"

NJ: Es la cantidad de nodos que se encuentran en el eje "y"

NK: Es la cantidad de nodos que se encuentran en el eje "z"

DX [m]: Es el valor total que tiene el eje "x" en metros.

DY [m]: Es el valor total que tiene el eje "y" en metros.

DZ [m]: Es el valor total que tiene el eje "Z" en metros.

TypSec: Son el tipo de secciones transversales usadas a lo largo del eje x con este parámetro se le dice al programa por cuál sección está pasando el tubo.

TypSoil: Está dividida en dos: una está compuesta por las secciones transversales que están al frente y detrás de los tubos y, la otra, indica las secciones por donde está atravesando el tubo.

PosInf: Se definen la ubicación inicial que tendrán las condensaciones dentro del tubo.

Kair0, Kair1: Se refieren a los coeficientes de intercambio entre el aire y el tubo, los valores de estos son siempre los mismos para todos los proyectos en los que se ha utilizado el *type 460* y se encuentran en el *Mathematical Reference* [35].

LamTub, CvSoil: Hacen referencia a la conductividad térmica y capacidad calorífica de cada uno de los tipos de suelos que se denominaron en el parámetro Nsoil.

LamTub, CvTub: Hacen referencia a la conductividad térmica y capacidad calorífica del tubo enterrado.

ThTub, CtubCor, Rfric: Siguiendo con la caracterización de los tubos, se refiere al espesor del tubo, el factor de corrección de la circunferencia, pue los nodos son cuadrados y se deben adaptar a los valores que tiene un tubo circular, y el coeficiente de fricción que se encuentra en el *Mathematical Reference* [35].

TypWatFlow, Vwat: Se refieren a cómo fluirán las condensaciones y a qué velocidad irán.

NiniSoil, NiniWat: Son el número de condiciones iniciales que tiene la temperatura del suelo y la cantidad de agua.

TiniSoil, PosIniSoil: El primer renglón se refiere a la temperatura inicial de todos los nodos y el segundo se tiene la temperatura inicial para los nodos rectangulares.

ThInWat, PosInWat: Sigue la misma estructura que los parámetros anteriores.

Nopt: Son el número de salidas que se quieren calcular y que se definirán dependiendo de lo que si se quiere medir es el tubo o el aire que fluye por él, esto se hará en TypOpt, PosOpt.

Para una mejor comprensión de estos datos, se debe tener muy en cuenta la Figura 10, como se puede observar en ella el frontal del intercambiador, donde se pueden distinguir los tubos, está formada por los ejes Y-Z y la parte lateral, donde se ve todo el largo del tubo, está conformada por los eje X-Z, en la Figura 13 se tiene una representación gráfica de lo que se explicó anteriormente.

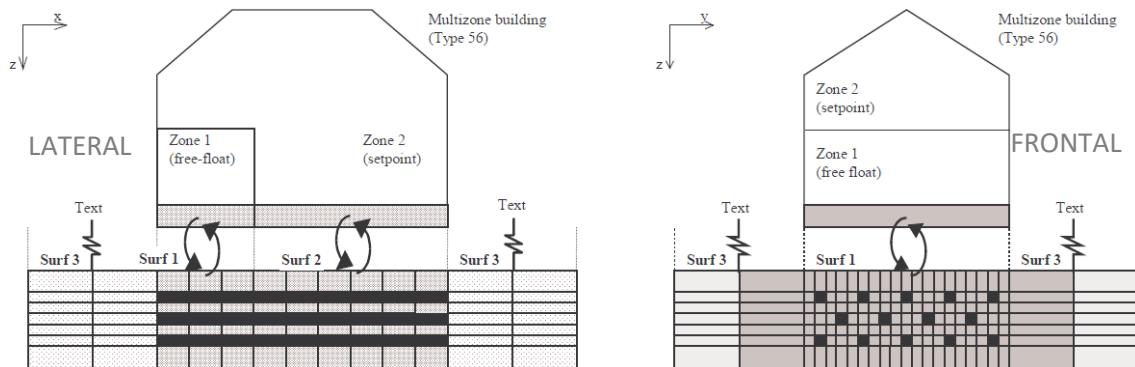


Figura 13. Lateral (Y-Z) y Frontal (X-Z) del Edificio [35]

Como se puede ver en la Figura 14, las matrices DX, DY e DZ están compuestas por 13, 12 y 7 nodos para los ejes X(NI), Y(NJ) y Z (NZ), respectivamente. Los cuales tienen diferentes dimensiones para cada uno de los nodos y ejes.

```
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
2   3   2   2   13 12 7

* DX [m]:
2.0000E+00  2.0000E+00
1.0000E+00  1.0000E+00  1.0000E+00
0.6666E+00  0.6666E+00  1.0000E+00
1.0000E+00  1.0000E+00  1.0000E+00
2.0000E+00  2.0000E+00
} 13

* DY [m]:
2.0000E+00  2.0000E+00  0.6000E+00  0.4000E+00
0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00
0.4000E+00  0.4000E+00  0.4000E+00  0.2000E+00
} 12

* DZ [m]:
0.4000E+00  0.2000E+00  0.2000E+00  0.2000E+00
0.2000E+00  0.2000E+00  0.4000E+00
} 7
```

Figura 14. Definición de DX, DY e DZ [35]

Lo que gráficamente, y como se expone en la Figura 15, quiere decir que el nodo 1 mide 2m, que el nodo 2 mide 2m y siguiendo una secuencia como la que se enseña en la Figura 16, secuencia que se utiliza de la misma manera en el resto de nodos.

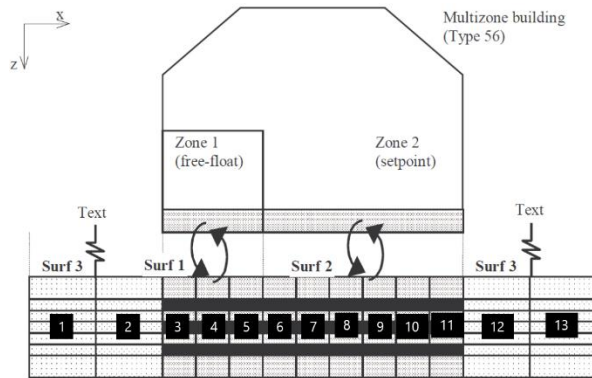


Figura 15. Número de nodo en el eje X(NI) [35]

DX [m]:  
~~2.0000E+00~~ ~~2.0000E+00~~  
~~1.0000E+00~~ ~~1.0000E+00~~ ~~1.0000E+00~~  
~~0.6666E+00~~ ~~0.6666E+00~~ ~~1.0000E+00~~  
~~1.0000E+00~~ ~~1.0000E+00~~ ~~1.0000E+00~~  
~~2.0000E+00~~ ~~2.0000E+00~~ →

Nodo	Ancho DX [m]
1	2
2	2
3	1
4	1
5	1
6	0.6666
7	0.6666
8	1
9	1
10	1
11	1
12	2
13	2

Figura 16. Secuencia valores DX

De esta misma manera se distribuyen los nodos en el eje Z(NK), Figura 17.

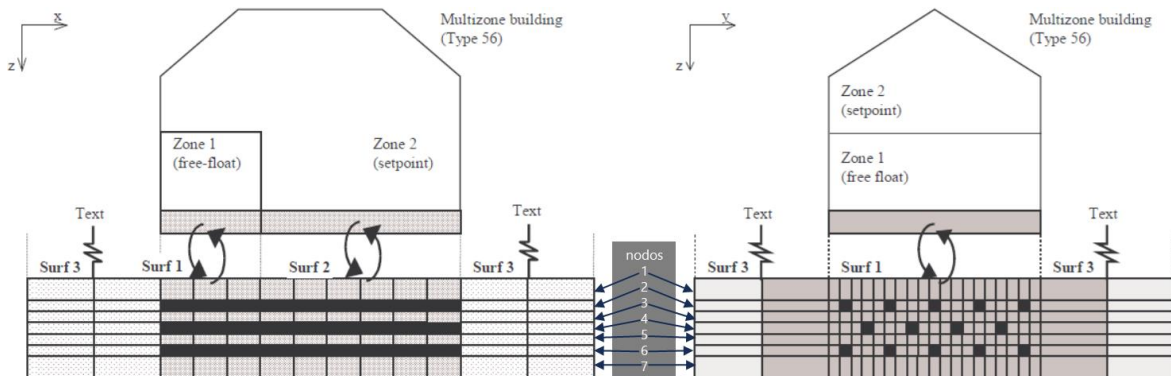


Figura 17. Número de nodos en el eje Z(NK) [35]

Como se puede ver en la Figura 14, el intercambiador tiene dos módulos y en la Figura 13, si se cuenta los nodos del "LATERAL" hay más de los indicados para NJ por lo que el "FRONTAL" del intercambiador es simétrico y esto se debe tener muy en cuenta, pues los valores del eje de simetrías serán distinto al de los demás, si se observa con detenimiento el espacio que hay entre cada nodo del eje Y(NJ), se ve que las dimensiones donde se encuentran los tubos son un 80% más pequeñas y según el valor que tiene el nodo 12 de DY, el del eje de simetría es la mitad que el del resto, como se observa en la Figura 18, y esto se debe a que este nodo es el eje simétrico del intercambiador.

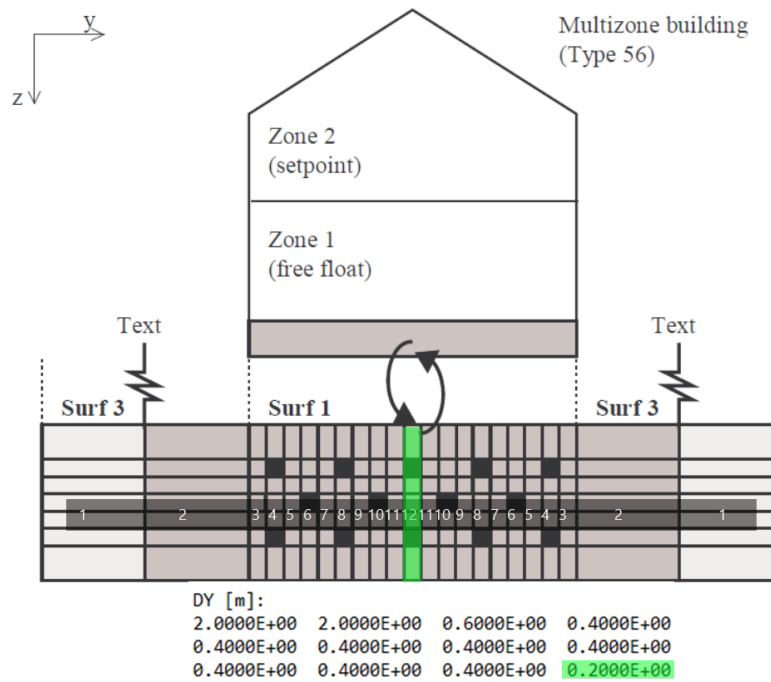


Figura 18. Eje de Simetría del intercambiador [35]

Los valores o dimensiones ( $D_z$  y  $D_y$ ) que tiene cada uno de los nodos, donde se halle un tubo, se obtienen de dividir el diámetro interior entre dos y multiplicarlo por la raíz de pi o lo que es lo mismo:  $D_y = D_z = \frac{D_{int}}{2} \sqrt{\pi}$  y el factor de corrección es 0.8862, que es un parámetro de entrada al fichero externo y se denomina  $C_{tubCor}$ . En el caso de existir eje de simetría, el nodo que se encuentra al borde del intercambiador, se debe dividir  $D_y$  entre 2, que es lo que se observa en la Figura 18 [35].

Continuando con la definición de los parámetros, la matriz  $TypSec$  tiene dimensiones (1 x NI) por lo que será una fila con trece columnas, los valores que se ven en la Figura 19 se deben a las diferentes secciones o superficies que está atravesando el tubo, si se observa cualquiera de las figuras del LATERAL del edificio, se ve que dentro del edificio hay dos superficies: Surf1 se encuentra a la entrada del edificio y Surf2 es la parte posterior y la grande del edificio, finalmente se tiene que la que la superficie 3 es todo lo que está rodeando el edificio.

\*  $TypSec$  [-]:

1	1	2	2	2	3	3	3	3	3	3	1	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---

Figura 19. Matriz Secciones

Al ver la parte LATERAL, se observa que los dos primeros nodos están debajo de la Surf1, los siguientes 3 nodos, que es donde inicia el intercambiador, está debajo de la superficie 2 y por último la superficie dos que es la de mayores dimensiones, teniendo 6 nodos.

Continuando con las matrices que definen el intercambiador se tienen las  $TypSoil$ , que como se dijo con anterioridad, hay de dos tipos: unas representan la parte anterior y posterior del intercambiador de calor por lo que las dimensiones de sus matrices son (1: NJ, 1: NK)

TypSoil for front surface [-]:	TypSoil for rear surface [-]:
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

Figura 20. Matrices TypSoil. Superficie anterior y posterior del ICTA [35]

El otro tipo de matrices TypSoil tienen dimensiones (0: NJ+1, 0: NK+1) y son las que tienen más relevancia, pues en ellas aparecen la localización de cada uno de los tubos, el tipo de suelo que se utiliza y debajo de qué superficie se localiza.

* TypSoil for <b>a</b> sec# 1 (through ambient) [-]:												
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	<b>b</b>
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	<b>c</b>											

Figura 21. Matrices TypSoil. Sección 1 ICTA.

Como se observa en la Figura 21, este segundo tipo de matrices se dividen en 4 partes.

- Este grupo, representado por el cuadro verde, informa en cuál de las secciones, en las que se encuentra dividido el intercambiador, se encuentra.
- Esta matriz de 1: NJ, ubicada en el cuadro naranja, informa sobre qué superficie se encuentra cada nodo del eje Y(NJ).
- Dentro de este cuadro rosa, se ven la disposición de los tubos y tipo de suelo que hay. Por lo que dentro de este cuadro rosa el "0" representa el tubo, en el caso de la Figura 21, la primera sección se encuentra en el ambiente y en ésta no se inicia el intercambiador, por lo que no aparecen los tubos en este sección, además, como se ha dicho con anterioridad este intercambiador se encuentra enterrado en dos tipos distintos de terreno, en el caso de la sección 1 todo el suelo es del tipo "2".
- Finalmente, los círculos de color azul cian representan que no hay intercambio después de esta matriz rosa.

Explicadas las partes en las que se dividen estas matrices, en la Figura 22 e Figura 23 se ve de manera más intuitiva por cuál superficie están pasando los tubos, dónde están los tubos y qué tipo de suelo cruzan.

TypSoil for sec# 2 (through both zones) [-]:

3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
0	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 22. Sección 2

TypSoil for sec# 3 (through setpoint-zone only) [-]:

3	3	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0
0	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Figura 23. Sección 3

Por lo que se ve claramente, que el ambiente está bordeando el edificio, pues aparece “3” al inicio de cada matriz, además de que debajo del ambiente el tipo de suelo que se tiene es el “2”, que es diferente al terreno adyacente a los tubos, que es de tipo “1”, y, finalmente, se localizan con facilidad los 7 tubos que se simulan en el modelo, que se recuerda en realidad son 14, pues hay dos módulos. Con respecto a los demás parámetros, los valores de algunos de estos son constantes/coeficientes que se encuentran definidos dentro del *Mathematical Reference* del *type 460* [35] o son valores que deben ser introducidos por el usuario, teniendo la precaución de introducirlos en las dimensiones establecidas por el *type*, que en su mayoría son en metros (espesor, longitud, etc.), °C (temperatura), kJ/h·K·m (Conductividad térmica), kJ/K·m<sup>3</sup> (capacidad), entre otros.

Este *type* ha sido validado en diferentes estudios, uno de los principales se hizo con el autor del *type* en el artículo “Cooling and preheating with buried pipe systems: monitoring, simulation and economic aspects” [36], se ha utilizado en una Tesis Doctoral en Colombia [37] y se ha validado en un estudio realizado en Marruecos, el cual tienen unas características climatológicas y de diseño del intercambiador que se asemejan a las estudiadas y seleccionadas en este Trabajo Final de Máster [38].

#### 4.2.2.1 Estudio de Sensibilidad

Una parte en la que se enmarca el presente trabajo, es en el estudio de viabilidad del intercambiador de calor geotérmico, como se adelantó en el apartado introductorio de esta sección y se ha visto en la descripción del *type 460*, el uso del TRNEdit no es viable, por lo que en esta subsección, se hará un la descripción a gran escala de lo que se debió de elaborar para realizar la sección 6.2.2. Estudio de Sensibilidad y en el ANEXO 2.2. Estudio Paramétrico.

Como se ha encuadrado en el apartado 3.3.1. Diseño del Intercambiador, los parámetros de diseño son: la profundidad, longitud y diámetro, estas características se deben modificar una a una en cada fichero externo, teniendo en cuenta que hay datos que dependen uno del otro, siendo el caso del diámetro.

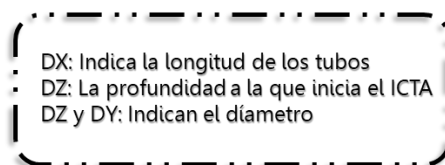


Figura 24. Dependencia paramétrica a los ficheros externos

A modo de resumen en la Figura 24, se explica qué parámetros se deben variar en los ficheros al realizar los diferentes estudios. La longitud se puede variar de dos maneras: variando el valor de los nodos en el eje X(DX) o el número de tubos del intercambiador, de los cuales se deben cambiar el valor de los nodos en la matriz DX, teniendo en algunos casos que variar las matrices TypSoil.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1   1   1   1   4  11 10

* DX [m]:
  2.5000E+00  2.5000E+00
  2.5000E+00  2.5000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.2150E+00
  0.6770E+00  0.2150E+00  0.6780E+00  0.2150E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.2150E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

* TypSec [-]:
  1   1   1   1

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1   1   1   1   4  11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.2150E+00
  0.6770E+00  0.2150E+00  0.6780E+00  0.2150E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.2150E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

* TypSec [-]:
  1   1   1   1
    
```

Figura 25. Longitud. Variando DX I

En la Figura 25 se observa que al variar la longitud de los tubos de 10 metros a 20 metros sólo se debe variar el valor de los nodos en las matrices DX y el resto se mantiene fijo; en el caso de pasar de 20 metros a 30 metros y respetando los criterios comerciales, se deben aumentar la cantidad de nodos del eje X(NI) y en consecuencia, la de las matrices TypSec y Nopt, así se ve en la Figura 26.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1   1   1   1   4  11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.2150E+00
  0.6770E+00  0.2150E+00  0.6780E+00  0.2150E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.2150E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

* TypSec [-]:
  1   1   1   1

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1   1   1   1   6  11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.2150E+00
  0.6770E+00  0.2150E+00  0.6780E+00  0.2150E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.2150E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

* TypSec [-]:
  1   1   1   1   1   1
    
```

Figura 26. Longitud. Variando DX II

En el caso de variar el número de tubos, pero se fija la longitud de los tubos, por ejemplo, en 20 metros, se debe sustituir unos por ceros, como se muestra en la Figura 27.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*-----
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
1 1 1 1 4 11 10

* DX [m]:
5.0000E+00 5.0000E+00
5.0000E+00 5.0000E+00

* DY [m]:
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.3930E+00 0.2150E+00 0.3920E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00

* DZ [m]:
0.7500E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.2500E+00 0.2150E+00
0.2500E+00 0.5000E+00 0.7500E+00

* TypSec [-]:
1 1 1 1

* TypSoil for front surface [-]:
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

* TypSoil for sec# 1 (through ambient) [-]:
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*-----
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
1 1 1 1 4 11 10

* DX [m]:
5.0000E+00 5.0000E+00
5.0000E+00 5.0000E+00

* DY [m]:
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.2150E+00
0.6770E+00 0.2150E+00 0.6780E+00 0.2150E+00
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00

* DZ [m]:
0.7500E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.2500E+00 0.2150E+00
0.2500E+00 0.5000E+00 0.7500E+00

* TypSec [-]:
1 1 1 1

* TypSoil for front surface [-]:
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

* TypSoil for sec# 1 (through ambient) [-]:
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Figura 27. Longitud. Variando la cantidad de tubos

Como se observa en la Figura 28, al variar el valor de los primeros tres nodos se varía la profundidad del intercambiador sin ningún problema, el hándicap se debe a que la parte donde se encuentra físicamente debe no tener ningún tipo de cambio, pues eso induciría a un error y a posibles perturbaciones que derivarán en el cálculo final de las demandas térmicas del edificio.



```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.1700E+00  0.6600E+00  0.1700E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1700E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.1700E+00  0.6600E+00  0.1700E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  1.5000E+00  1.0000E+00  0.7500E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1700E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00
    
```

Figura 28. Profundidad. Variando DZ I

Por ello, esta parte del fichero se recomienda que no tenga grandes variaciones durante los diferentes estudios que se lleven a cabo, como ejemplo de esto, en la Figura 29, se observa como la cantidad de nodos en NK se ha variado para que la parte donde se encuentra el intercambiador no presente mayores perturbaciones. Este aumento de un nodo en NK, hace que las matrices TypSoil y Nopt también varíen.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 11

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.1700E+00  0.6600E+00  0.1700E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  1.5000E+00  1.0000E+00  0.7500E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1700E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 11

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.1700E+00  0.6600E+00  0.1700E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  1.5000E+00  1.5000E+00  1.0000E+00  0.7500E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1700E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00
    
```

Figura 29. Profundidad. Variando DZ II

Finalmente, para variar el diámetro se deben cambiar simultáneamente DY e DZ y teniendo en cuenta que el espacio entre tubos debe ser mayor de 0.45 metros o 0.5 metros. En la Figura 30 se observan que para el diámetro de 160mm, izquierda, y el de 200 mm, derecho, se variaron el nodo número 7 en la matriz DZ y el nodo número 6 en la matriz DY.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.4320E+00  0.1360E+00  0.4320E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1360E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
  1  1  1  1  4 11 10

* DX [m]:
  5.0000E+00  5.0000E+00
  5.0000E+00  5.0000E+00

* DY [m]:
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.4150E+00  0.1700E+00  0.4150E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00

* DZ [m]:
  0.7500E+00  0.5000E+00  0.5000E+00  0.5000E+00
  0.5000E+00  0.2500E+00  0.1700E+00
  0.2500E+00  0.5000E+00  0.7500E+00
    
```

**Figura 30. Diámetro. Variando DY y DZ**

Como se comentó al inicio, se deben tener en cuenta el espacio que hay entre tubos. En la Figura 31 se puede ver que para el mismo diámetro de 200mm y con tres tubos en lugar de uno, se deben variar sobre todo la matriz DY, pues es ésta la que dictamina el valores en x, en cambio DZ solo el tamaño de los nodos en el eje Z. Así mismo se puede ver que la distancia entre tubos es superior a 0.45 metros.

```

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
1 1 1 1 1 4 11 10

* DX [m]:
5.0000E+00 5.0000E+00
5.0000E+00 5.0000E+00

* DY [m]:
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.4150E+00 0.1700E+00 0.4150E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00

* DZ [m]:
0.7500E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.2500E+00 0.1700E+00
0.2500E+00 0.5000E+00 0.7500E+00

* TypSec [-]:
1 1 1 1

* TypSoil for front surface [-]:
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

* TypSoil for sec# 1 (through ambient) [-]:
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

*****
* TYPE 61 SUPPLIED PARAMETERS
*****
* Nmod,Nsec,Nsoil,Nsurf,NI,NJ,NK [-]:
1 1 1 1 4 11 10

* DX [m]:
5.0000E+00 5.0000E+00
5.0000E+00 5.0000E+00

* DY [m]:
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.1700E+00
0.7450E+00 0.1700E+00 0.7450E+00 0.1700E+00
0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00

* DZ [m]:
0.7500E+00 0.5000E+00 0.5000E+00 0.5000E+00
0.5000E+00 0.2500E+00 0.1700E+00
0.2500E+00 0.5000E+00 0.7500E+00

* TypSec [-]:
1 1 1 1

* TypSoil for front surface [-]:
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

* TypSoil for sec# 1 (through ambient) [-]:
1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 0
0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0

```

Figura 31. Diámetro. Variando DY y DZ, número de tubos

#### 4.2.3. Combinación de los modelos

Una vez explicado cada uno de los modelos, se procede a combinarlos o a conectarlos entre ellos para realizar las simulaciones correspondientes. La conexión entre types se hace de manera intuitiva, siendo la temperatura y humedad relativa de la salida del *type 460* las entradas al *Building*. La temperatura ambiente del *Weather data* será la temperatura de entrada al *type 460*, además a diferencia del modelo del ejemplo, el intercambiador no se encuentra debajo del edificio, sino en el jardín delantero del edificio 5J, por lo que la temperatura con la que interactuará el intercambiador será con la del suelo, que a su vez lo hace con la temperatura ambiente.

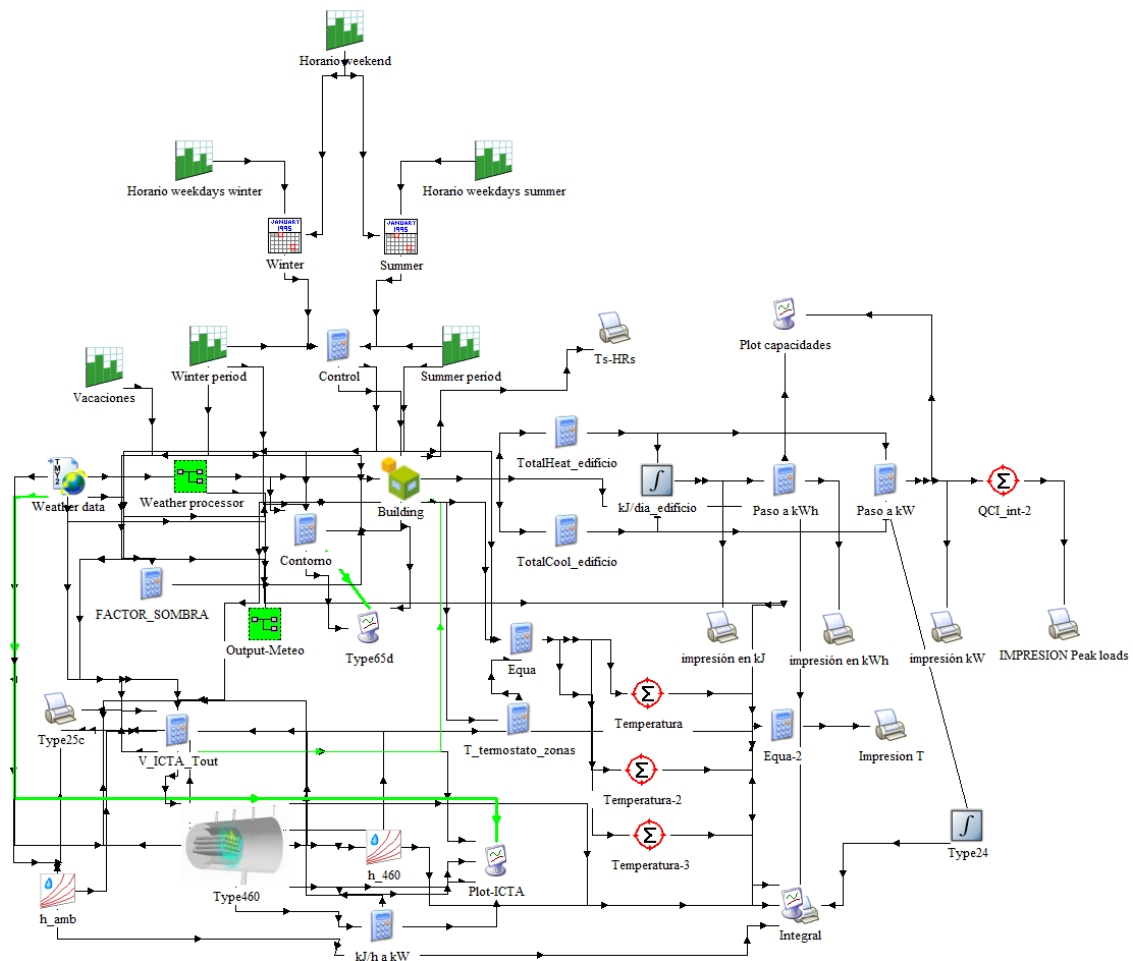
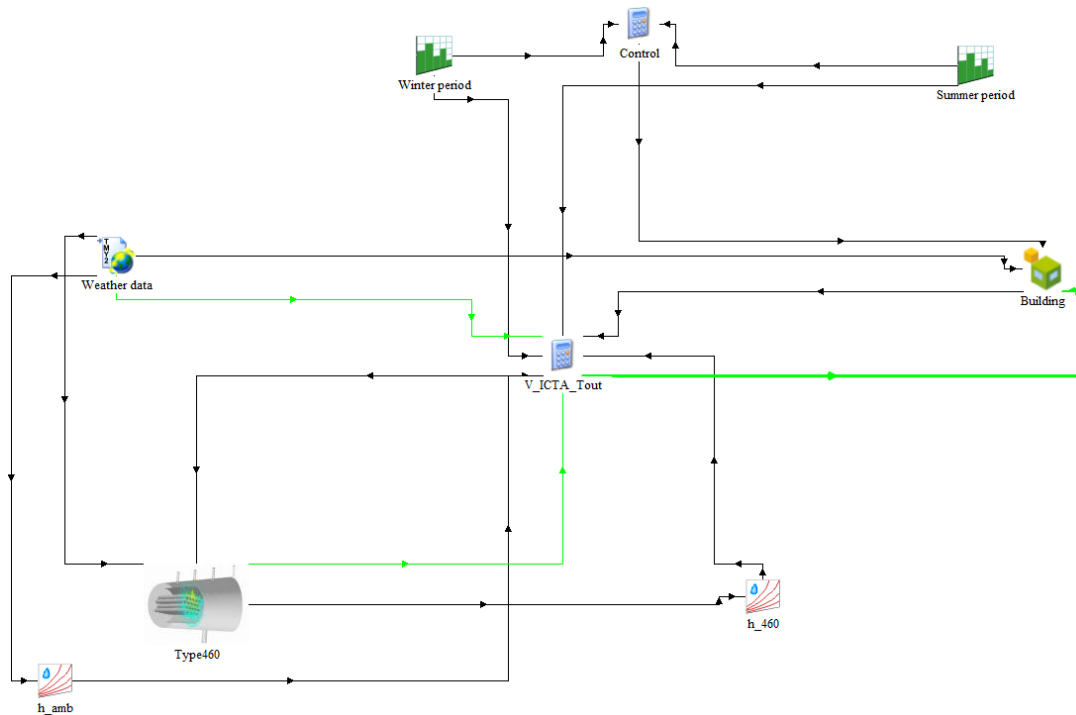


Figura 32. Modelo Final del TFM

Dentro de la maraña de conexiones que se observa en la Figura 32, se debe destacar el uso de la calculadora “V\_ICTA\_Tout”, pues es en ésta donde se concentra gran parte de la actividad que se ejecuta en las simulaciones. Los valores y controles que se realizan en esta calculadora son: El flujo volumétrico que debe entrar al *type 460* en  $\text{m}^3/\text{h}$ ; el Flujo másico que debe entrar al *Building* en  $\text{kg}/\text{h}$ , que al ser aire varía cada instante de tiempo, pues varía su densidad; que es la razón de los *types* de psicometría. Finalmente, se encuentra dos controles: el primero es el control del ventilador que impulsa el aire dentro del edificio, pues como se presentará en el apartado 6.2.2. Estudio de Sensibilidad, dependiendo de la estación del año y de la cantidad de volumen que se pasa por el ICTA, la demanda térmica del edificio se reduce o se aumenta. Es decir, en modo invierno el caudal de aire que recorre el ICTA es el mínimo establecido por el RITE, pero en modo verano este caudal será el doble que el establecido por el RITE, en dicho apartado se dará una explicación más detallada sobre esta variación de caudal. El último control es el de temperaturas y éste se incorporará al ICTA. Este control es importante, pues de su actuación dependerá que la demanda térmica del edificio se vea reducida o no. Un claro ejemplo de su importancia se tiene en modo invierno, pues en algunas ocasiones el aire ambiente está a una temperatura ambiente ( $T_{amb}$ ) mayor que la temperatura de salida del intercambiador ( $T_{out}$ ) por lo que, si no existiera el control, entraría  $T_{out}$  al edificio que, al ser menor que  $T_{amb}$ , aumentaría la demanda térmica de calefacción y el discomfort, pues subjetivamente “fuera del edificio se estaría mejor que dentro”. Al contrario que en modo verano, pues en una ciudad como Valencia, la  $T_{amb}$  en verano suele ser superior a la de  $T_{out}$ , lo que provoca que al edificio

entre la Tout y que, al estar a menor temperatura, la demanda térmica de refrigeración reduzca y el confort aumente.



**Figura 33.  $V_{ICTA\_Tout}$**

En la Figura 33 se observa con más detalle la repercusión que tiene esta calculadora en el intercambiador, la líneas verdes siguen el recorrido que debe seguir el control de temperaturas e indirectamente el humedades relativas en este proyecto; de hecho en esta Figura se evidencia lo que se comentó anteriormente, pues el *type 460* sólo tiene interacción con esta herramienta de cálculo.

# CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA

Descrito el programa de simulación y los diferentes *types* que se han utilizado para la correcta simulación del edificio, se procede a describir el abanico de propuestas que se tiene para la rehabilitación del departamento, las cuales se iniciarán con el correcto sellado del edificio para lograr un edificio más estanco y que finalizará con el cambio de la envolvente para mejorar la transmitancia térmica del edificio.

Una vez se han descrito las diferentes acciones para que el edificio sea más energéticamente sostenible, se procede al estudio de la viabilidad de un sistema geotérmico de muy baja temperatura para el pre-tratamiento del aire de ventilación del edificio, por lo que se iniciará la descripción del diseño de referencia y del estudio de sensibilidad. De dicho estudio se desarrollará una propuesta de diseño final, el cual se analizará en diferentes climatologías.

Por último, este capítulo finalizará con un estudio tecno-económico y ambiental de las diferentes propuestas.

## 5.1 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO

La rehabilitación de un edificio existente no se basa únicamente en la necesidad de mejorar el aislamiento térmico del edificio, el cual es importante, sino también en mejorar la estanqueidad de éste. Esta cuestión, la de mejorar la estanqueidad de los edificios nuevos o existentes, surge por la aparición del denominado Síndrome del Edificio Enfermo (SEE) que, en líneas generales, se debe a la descomposición de temperaturas que sufren los usuarios del edificio, lo que afecta en algunas ocasiones la salud de éstos, quienes caen enfermos [39]. A grandes rasgos, este síndrome se debe a las infiltraciones o exfiltraciones que tiene la envolvente térmica de un edificio, lo que se sintetiza en un edificio poco estanco. Por ello, en la rehabilitación de edificios es importante realizar primero un análisis de estanqueidad, que arroje los problemas de ventilación que pueda tener la envolvente térmica, y que, al estar solucionados, se podrá realizar un mejor estudio del espesor que le corresponde realmente al edificio, de esta manera se podrá obtener un edificio que demande menos energía y que de un mayor confort al usuario.

### 5.1.1. Estanqueidad

Para el correcto sellado de infiltraciones en los edificios existentes se debe realizar un ensayo de infiltraciones por medio del *Blower door* y éste debe ir acompañado de herramientas para su correcta detección, entre las herramientas se encuentran: cámaras termográficas, equipos de generación de humos y ultrasonido con estos se facilita el hallazgo del aire que entra de manera no controlada a la vivienda.

Como pasos a seguir, se propone realizar un *Blower door* previamente para hallar las infiltraciones y así proceder a su detección y sellado. Este primer ensayo arrojaría un número de

infiltraciones elevado, en el caso del DTRA son de  $2 \text{ h}^{-1}$ . Las infiltraciones o entradas de aire no controladas en este Departamento se encuentran en:

- Uniones váteres-suelo
- Paramenta eléctrica
- Rodapiés con el suelo
- Carpinterías ventanas

En el caso de viviendas, edificios de viviendas o edificios que tengan un mayor número de locales de admisión, siendo en esos casos la cocina el punto de mayores infiltraciones por el extractor [40] y la fontanería, así como las chimeneas y los diferentes conductos [41].

Para el Departamento, se sugieren que las fuentes de infiltraciones sean selladas de la siguiente manera:

- Uniones váteres-suelo

Las infiltraciones que se “hallan” en este tipo uniones se debe al poco cuidado que se tuvo a la hora de su instalación, en algunos casos el uso nulo de silicona en estas uniones hace que el aire se cuele por estas juntas, una solución factible es la inyección cuidadosa de silicona para asegurar su correcto estancado.

- Paramenta eléctrica

Este defecto se debe a que en el momento de la construcción del edificio no se utilizaron empaquetaduras, sellos o espumas para proteger la paramenta eléctrica de las infiltraciones. Por lo que se sugiere el uso de estos utensilios en los diferentes mecanismos eléctricos que se encuentran dentro del departamento.

Por otra parte, y si esta solución no fuera factible, también se puede hacer al uso de espumas de poliuretano dentro de las cajas de conexiones, que se encuentran en el interior del edificio, en este se debe tener especial cuidado a la hora de su inyección, pues la espuma al expandirse triplica su tamaño original por lo que, si se pone mucha, puede que después no entre la caja dentro del hueco de la pared.

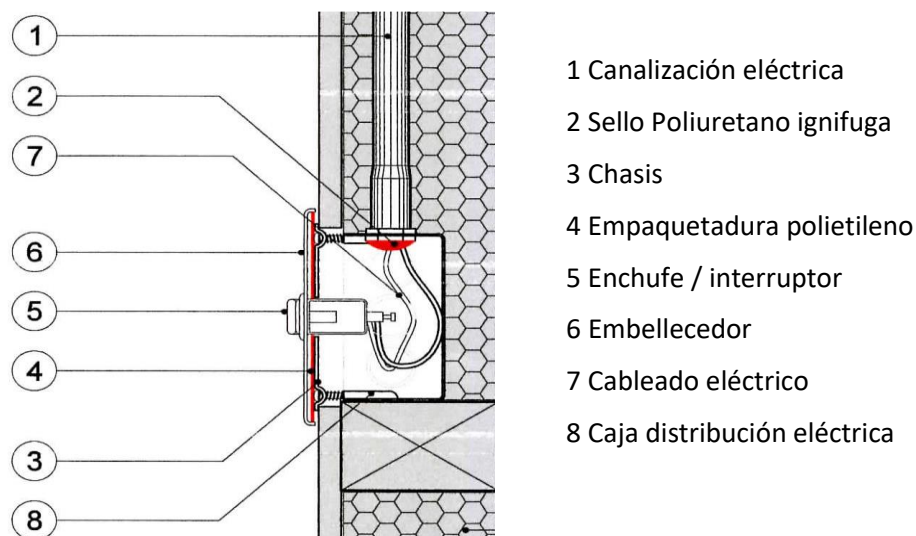


Figura 34. Solución estanca. Paramenta eléctrica interior [Fuente: Gob. Chile] [42]

En otros casos, las infiltraciones también derivan de conexiones que se hacen en cajas de conexiones que se encuentran fuera del edificio, este tipo de cajas de derivación deben ser selladas para asegurar su hermeticidad, este sellado se puede ejecutar mediante el relleno de siliconas (Figura 35 a) o de geles (Figura 35 b).



(a)



(b)

**Figura 35 Solución estanca. Paramenta eléctrica exterior [Fuente: varios] [43]- [44]**

- Rodapiés

Al estar ubicados en la unión entre frente de forjado y el suelo, este tipo de soluciones constructivas no suelen estar bien aisladas, teniendo en algunos casos condensaciones. Una forma de solucionar estas infiltraciones es saneando la zona afectada e instalando una manta flexible de PVC, se rellena con ladrillos-cemento y se enlucce con yeso, que tiene un coeficiente de absorción muy bajo con lo que se evitan las fugas de calor [45]. Finalmente, al poner de nuevo los rodapiés se deben sellar las ranuras que quedan con lechada<sup>4</sup>. [46]

En principio, se sellarían todas estas infiltraciones y, se sugeriría, un segundo ensayo de *Blower door*, en este caso y según la rehabilitación hecha en Andorra [47], el correcto sellado de infiltraciones haría que los resultados del segundo ensayo dieran unas infiltraciones de  $1\text{h}^{-1}$ , lo que ha derivado en una reducción del 26% en la Calefacción y en un aumento del 2% en la Refrigeración como se pueden ver en la Tabla 9.

El aumento y la reducción de las demandas térmicas que se aprecian en la Figura 50 se deben al correcto sellado de los huecos, pues estas fugas de aire perjudicaban a la calefacción del edificio, pues el aire caliente se filtraba hacia el exterior y entraba al edificio sin ser tratado y con una temperatura más baja que la del interior del edificio,. Por otro lado, esto mismo sucede con la refrigeración, siendo en algunas ocasiones en beneficio propio, pues en momentos donde el edificio no estaba climatizado, el aire “fresco” se filtraba y hacia que el caliente saliera; en este

<sup>4</sup> Según la Real Academia Española la lechada es: Masa muy suelta de cal o yeso, o de cal mezclada con arena, o de yeso con tierra, que sirve para blanquear paredes y para unir piedras o hiladas de ladrillo.



caso al reducir las infiltraciones el aire se mantiene dentro del edificio y no se fuga, reteniendo el calor y reduciendo las renovaciones de aire no controladas.

Anteriormente, se dijo que otro foco importante de infiltraciones son las carpinterías de las ventanas, pero no se analizaron debido al impacto que tiene esta medida en la estanqueidad del edificio. En los años 70, las dimensiones de los huecos de las ventanas eran más grandes que estas, por ello esta característica constructiva suele tener infiltraciones y puentes térmicos al no haber sido tratados correctamente el sellado o unión entre ventana y pared. Para que este tratamiento de infiltraciones se haga, se deben quitar todas las carpinterías y ventanas, por lo que se sugeriría aprovechar este saneamiento para realizar un cambio de ventanas al departamento, este cambio además de reducir las infiltraciones de las carpinterías también beneficia la reducción de la carga de refrigeración del edificio.

- Elección Cristales

Para una correcta elección del acristalamiento se tendrán en cuenta sus dos características más importantes; la transmitancia térmica,  $U$  [ $W/m^2 \cdot K$ ], y el factor solar,  $g$ , su importancia se debe a que son las responsables de dar un confort térmico en invierno y en verano, respectivamente. Para tener un confort en invierno, se debe tener acristalamientos que no transmita fácilmente el calor del interior al exterior del edificio, esto se lograría con acristalamientos que tengan una baja transmitancia térmica, pero a su vez, estos acristalamientos, deben tener un buen confort en el verano, es decir que la transferencia de calor producida por la energía solar no sea muy alta, por ello para zonas cálidas, como es el caso de Valencia, el factor de solar debe ser bajo.



Figura 36. Características Cristal. CalumenLive [48]

Para que estos cumplan la normativa vigente se deberán tener en cuenta los valores expuestos en el apéndice D del DB-HE. Teniendo en cuenta las características mencionadas anteriormente

y calculadas en el apartado 6.1.1. Estanqueidad, se eligen los cristales por medio de la herramienta virtual CalumenLive [48], se realiza una búsqueda del acristalamiento con los requisitos técnicos deseados, los acristalamientos que aparecen cumplen los requisitos técnicos indicados por el usuario y, además siguen configuraciones comerciales. Siguiendo los valores parametrizados por los diferentes apartados, en la Figura 36 se observan las características técnicas que arroja dicha herramienta virtual.



**Figura 37. Estanqueidad Carpinterías [49]**

En la Figura 37, se expone cómo quedaría la unión entre carpintería y paredes. Asegurada la estanqueidad de las carpinterías cambiados los cristales, se propone un tercer y último ensayo de *Blower Door* para este ensayo, se supone un valor de infiltraciones de  $0.6^{-1}$ , cuya repercusión térmica se analizará en el apartado 6.1.1. Estanqueidad.

- Mejora Envoltente Térmica

Como se ha comentado al inicio de este capítulo y dado que se ha subsanado correctamente la estanqueidad del edificio, se procede a la mejora de la envoltente del edificio. En la actualidad, tres de los métodos que más se utilizan para la mejora y rehabilitación de edificios son:

- Aislamiento Térmico por el interior (Imagen a la izquierda)
- Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) (Imagen del centro)
- Inyección de aislamiento en la Cámara de Aire (Imagen a la derecha)



**Figura 38. Métodos para la Rehabilitación de Edificios [50]**

A modo resumen, se realizará una breve explicación de cada uno de los métodos.

- Aislamiento Térmico por el Interior

Como se observa a la izquierda de la Figura 38, este método se basa en realizar un enfoscado<sup>5</sup> previo a la adhesión del bloque de aislamiento, este bloque de espesor  $x$  se recubrirá con un enlucido de yeso. Este método se utiliza normalmente en rehabilitaciones de edificios donde la fachada exterior está protegida históricamente y/o cuando la envolvente del edificio no tiene cámara de aire. Desafortunadamente, no elimina los puentes térmicos; si la instalación no se ha hecho correctamente, se pueden crear condensaciones y, finalmente, al ser una instalación interior, le quita  $m^2$  a la superficie útil inicial.

- Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)

En este método, el bloque de aislamiento se adhiere directamente a la fachada exterior del edificio, se le pone una armadura y se enlucen para finalmente llevar una imprimación y un revoco. Este método se suele utilizar en los diseños de los edificios pasivos [51] por el bajísimo nivel de puentes térmicos que tiene o en el caso de rehabilitación, los elimina. Al contrario que el aislamiento por el interior, el SATE mantiene la inercia térmica del edificio, no es invasivo, lo que resulta en una nula pérdida del espacio interior y la posibilidad de instalar el espesor de aislamiento que se desea.

- Inyección de Aislamiento en la Cámara de Aire

Para una correcta ejecución de este método, se debe limpiar correctamente la cámara de aire para asegurarse de no crear por error puentes térmicos, que resultan de no haberse rellenado correctamente la cámara al expandir el aislante. Una desventaja que tiene este método, es que los edificios no suelen tener cámara de aire con bastante espesor, lo que se traduce en falta de aislamiento y en la posible instalación del espesor faltante en el interior del edificio, lo que incrementa económicamente la mejora de la envolvente del edificio.

La elección del material aislante y su espesor se obtuvieron del Trabajo Final de Grado “Calificación energética de un Edificio Existente de Usos Múltiples ubicado en Valencia” [52] en este trabajo se analizó la elección de la Lana Mineral (MW) o del Poliestireno Expandido (EPS) como material aislante para mejorar la envolvente térmica del Edificio. Asimismo, hizo cálculos para la elección del espesor, encontrando que para espesores mayores de 4 centímetros la transmitancia disminuía, pero no cumplía los valores límites de transmitancia exigidos por CTE. De los dos aislantes analizados se eligió el de menor conductividad, el EPS. Finalmente, y debido a lo ligada que se encuentra la transmitancia al espesor y la importancia de cumplir los valores mínimos de transmitancia, los cálculos realizados arrojaron que dicho límite se cumplía a partir de 7 centímetros.

Para finalizar con las propuestas de rehabilitación, se debe comentar que en conversaciones con un arquitecto certificado en *Passive House Designer* de la empresa GMG Arquitectos afirmó que, ante la rehabilitación de un edificio existente, que no tiene la fachada exterior protegida, el método que se debía utilizar es el Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE). Además, confirmó que los 7 centímetros de aislamiento para Valencia se acercaban bastante a lo que se instala en esta ciudad [51].

---

<sup>5</sup> Enfoscado: Capa de argamasa o cemento que cubre un muro u obra de construcción.

Por estas razones, se propone como medida de mejora de la envolvente del Departamento de Termodinámica Aplicada el Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) y cuyo aislamiento será de Poliestireno Expandido (EPS) de 7 centímetros de espesor.

## 5.2 VIABILIDAD DEL SISTEMA GEOTÉRMICO PARA EL PRETRATAMIENTO DEL AIRE DE VENTILACIÓN

Continuando con el hilo introductorio, se procede al estudio de viabilidad del Intercambiador de Calor Tierra-Aire para el pretratamiento del aire de ventilación. Se explicará el diseño de referencia elegido y las variables de diseño y operación a tener en cuenta en el estudio de sensibilidad. Finalmente, se realizará un análisis de la influencia que tendrían las condiciones climatológicas en caso de ubicarse la instalación en otros climas representativos de España.

### 5.2.1. Diseño de referencia y parámetros de diseño

Antes de iniciar con el diseño y sus parámetros, se debe de analizar la ubicación en la que se instalaría teóricamente el ICTA. Debido a la extensión de este tipo intercambiadores y a la necesidad de terrenos con alta conductividad, se propone el jardín delantero del edificio 5J, Figura 39, pues la conductividad de este suelo es conocida [6] y se encuentra bastante cerca de los despachos a climatizar.



**Figura 39. Vista Aérea Jardín delantero Edificio 5J [Fuente: Google]**

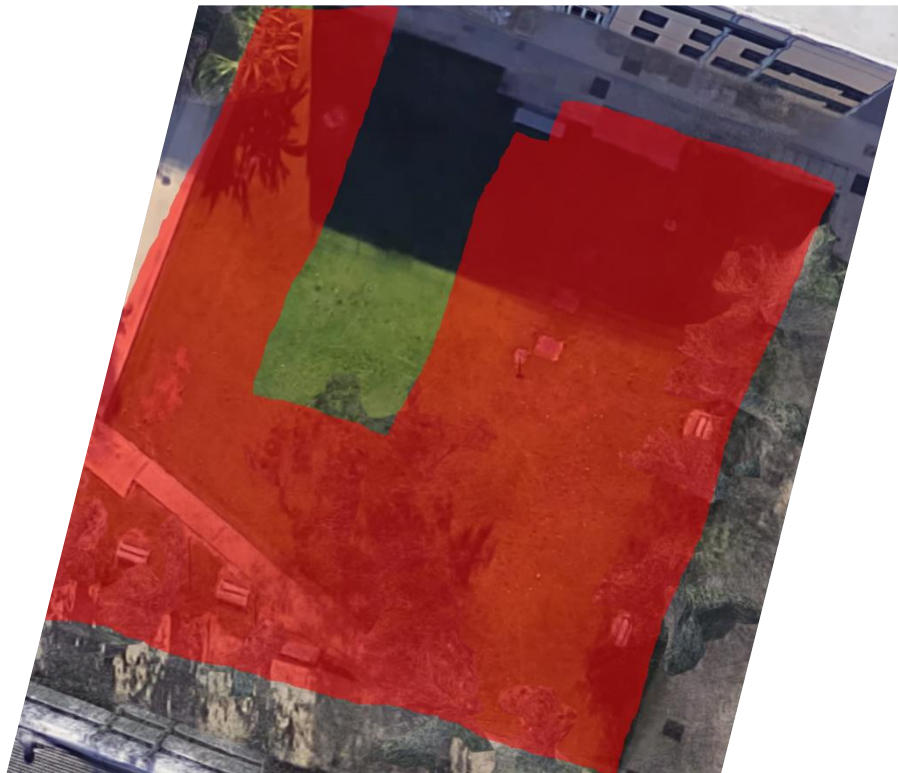
A pesar de reunir estas condiciones, este jardín tiene varios hándicaps, uno de los más visibles es la cantidad de árboles que tiene, pues eso deriva en posibles raíces, además que se puede abarcar la posibilidad de arrancarlos, algo que desde luego no se acerca ni al objetivo, ni a la motivación del presente trabajo, si se observa detenidamente la Figura 40, se aprecia que en el lateral derecho del edificio, además de existir una platanera, también existe una escultura sobre un montículo, por lo que se descartan estos dos espacios. Como se ha dicho en varias ocasiones,

este edificio ha sido estudiado en trabajos previos [6], en donde se analiza y modela una instalación geotérmica, que se encuentra instalada en este mismo Jardín en el lateral izquierdo del Edificio 5J, por lo que también se descarta este espacio.



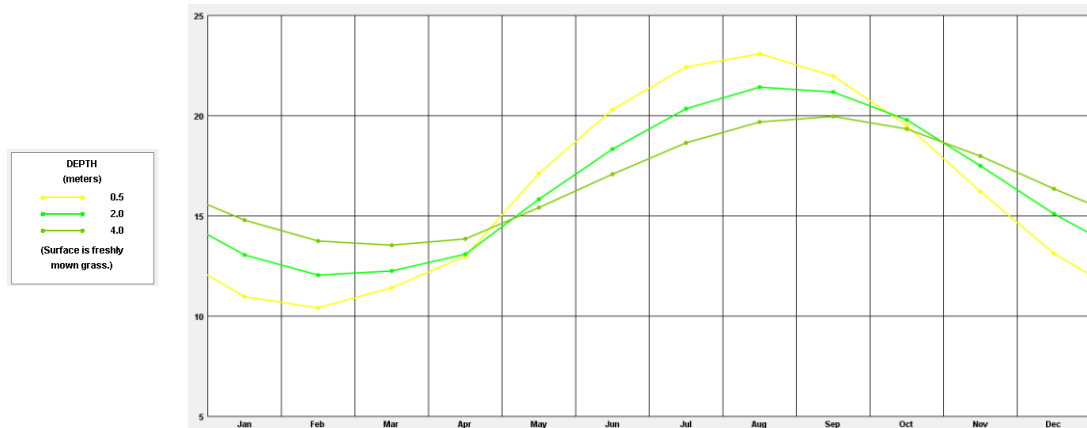
**Figura 40. Vista Sureste Jardín Delantero Edificio 5J [Fuente: Google]**

En la Figura 41 se representa gráficamente los espacios que restringirían la ubicación del ICTA. De esta imagen destaca un hueco, que se encuentra cerca del edificio y que tiene medidas aproximadas de 5.40 metros de ancho x 27 metro de largo, aproximadamente.



**Figura 41. Restricciones Ubicación ICTA**

Limitando en cierta medida las longitudes de los tubos, que no deberán ser superiores a 33 metros y el ancho de la zanja, la cual no debe ser superior a 5.40 metros. Para las profundidades, y como se observa en la Figura 42, a profundidades inferiores a 2 metros la onda de temperaturas tiene amplitudes altas, que se deben a la variación de temperaturas que ocurren en la superficie del terreno, por el contrario, a profundidades superiores a 4 metros se observa que la amplitud de la onda de temperaturas es menos variable. Además, en varios estudios [23], [28], [30] se determinó que, para profundidades inferiores a 2 metros y mayores de 6 metros, este tipo de instalaciones no son muy efectivas. Por ello y como criterio de diseño se acota la profundidad de referencia en 4.5 metros, que se encuentra entre medias de estos dos valores.



**Figura 42. Temperatura del Terreno [Fuente: Climate Consultant 6.0]**

De momento, se ha fijado la profundidad de diseño en 4.5m, en la elección de la longitud y el diámetro se tuvieron en cuenta los valores se comentaron en el apartado 3.3.1. Diseño del Intercambiador pero adaptándolo a las restricciones del terreno y a los valores comerciales. En la Figura 43, se expone los valores de diámetros comerciales a la par de las longitudes de tubos de PVC, además se ve que el valor más utilizado en este tipo de instalación cumple con los valores comerciales, por lo que se selecciona el diámetro de 200 mm como el de referencia.

<b>SERIE "B" Norma UNE EN 1329-1</b>					
Ø en m./m.	Espesor en m./m.	L = 1 m. / €		L = 3 m. / €	L = 5 m. / €
		FLEXIBLE	RIGIDO		
20	2,0	1,07	-	-	-
25	2,5	1,45	-	-	-
32	3,0	1,80	1,21	-	6,02
40	3,0	2,44	1,54	-	7,69
50	3,0	3,60	1,95	-	9,77
63	3,0	5,66	-	-	-
75	3,0	11,85	2,88	8,65	14,46
90	3,0	14,25	3,51	10,51	17,52
110	3,2	-	4,64	13,92	23,19
125	3,2	-	5,27	15,82	26,36
160	3,2	-	6,87	20,62	34,36
200	3,9	-	10,39	31,17	51,95
250	4,9	-	16,14	48,41	80,68
315	6,2	-	25,69	77,09	128,49

**Figura 43. Valores Comerciales Diámetro [Fuente: Saneamientos Gonzalo]**

En el caso de la longitud, los distintos estudios han arrojado que longitudes superiores a 30 metros se comienza a notar una reducción en la temperatura de salida del ICTA [23], [28], se

debe tener en cuenta que la longitud del ICTA también se puede obtener con varios tubos que tengan la misma longitud. Con lo dicho anteriormente y debido a las restricciones que se tiene del terreno, se toman como criterio de diseño 40 metros, en lugar de los 30 metros que se comentaban en el apartado 3.3.1. Diseño del Intercambiador pero al tener restricciones en la longitud de la zanja, se toman dos tubos de 20 metros para tener un total de 40 metros de longitud.

Zonas	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Ocupantes [p]	Vaire [m <sup>3</sup> /h]
D1	20.25	2.03	91.13
D2	13.50	1.35	60.75
D3	20.25	2.03	91.13
D4	20.25	2.03	91.13
D5	13.50	1.35	60.75
D6	13.50	1.35	60.75
D7	13.50	1.35	60.75
D8	13.50	1.35	60.75
D9	20.25	2.03	91.13
S1	36.00	NP	29.88
S2	13.50	NP	11.21
Pasillo	51.60	NP	42.83

**Tabla 4. Caudal Volumétrico RITE<sup>6</sup>**

Finalmente, para determinar el caudal volumétrico, se calculará el mínimo exigido por el RITE. Como se pone de manifiesto en la Tabla 4, el caudal de renovación del edificio son: 752.163 m<sup>3</sup>/h, en la Tabla 5 se ha hecho una recopilación de los criterios de diseño que se eligieron para el diseño de referencia.

Z [m]	∅ [mm]	n <sup>o</sup> tub	$\dot{m}_{\text{RITE}}$ [m <sup>3</sup> /h]	L <sub>tubo</sub> [m]
4.5	200	2	752.16	20

**Tabla 5. Valores Diseño de Referencia**

### 5.2.2. Estudio de Sensibilidad

Elegidos los valores de diseño para la instalación de referencia, se procede a la elección de los valores máximo y mínimos que se utilizarán para el estudio de sensibilidad, pues el estudio de sensibilidad se basa en mantener cuatro parámetros fijos, de los cinco que se tienen en este estudio, al variar uno en su valor máximo y mínimo se observa la influencia que tiene éste sobre el diseño global del intercambiador, con sus correspondientes valores nominales y se variará uno, para así poder ver la influencia que tiene cada parámetro en el diseño del intercambiador.

<sup>6</sup> Este cálculo, según RITE, para obtener el caudal volumétrico en los despachos, se debe saber el número de ocupantes y para obtener el de las salas, se debe saber la superficie de éstas, por ello se pone un NP, de No Procede en la Tabla 4.



- PROFUNDIDAD

Para la profundidad se han elegido valores arbitrarios y que, a su vez, tenga valores simétricos que ayuden a la mejor compresión de los datos dados.

Como se observó en la Figura 42 a mayores profundidades, menos variaciones en la temperatura del terreno, lo que sucede es que el valor mínimo limita al máximo por la razón de simetría y el máximo se limita por el coste económico por lo que se elige una diferencia de 1.5 metros entre los valores máximo y mínimo de 3 metros, es decir, que el valor mínimo será de 3 metros, que entra en los valores de profundidad estudiados y comentados en el CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE , y el valor máximo de 6 metros, que es límite de profundidad recomendado en dicho capítulo.

- DIÁMETRO

La elección de valores para este parámetro es puramente comercial, decidiéndose por el valor directamente inferior y superior que tienen los diámetros. Como se puede ver en la Figura 43 el diámetro inferior es el de 160 mm y el superior el de 250 mm. Como se comentó en el apartado 3.3.1. Diseño del Intercambiador este valor debe ser considerado conjuntamente con el caudal que cruza el intercambiador, consideración que se retomará en el punto “Caudal de Ventilación”.

- NÚMERO DE TUBOS

Este parámetro viene particularmente ligado al ancho de la zanja y al espaciado entre tubos, además al tener un valor de referencia de dos, se entré ve con facilidad que los valores máximo y mínimo son 3 y 1. A pesar de ello, se debe cumplir el espaciado mínimo entre tubos, en la Figura 41 se observa que el ancho de zanja es bastante grande, pero se presupone que la instalación geotérmica que se encuentra instalada en la actualidad, puede perturbar la temperatura del terreno adyacente al intercambiador por lo que se prevé que, además de los 3 metro de espaciado que se han dejado inicialmente, a un metro de distancia esta perturbación será menor, por lo que se queda una zanja de 3 metros de anchura. Al analizar si se cumple el espacio entre tubos, se prevé la posibilidad de instalar los 3 tubos con el diámetro de valor máximo, lo que sí que se cumple y, de hecho, dejaría espacio para un tubo más.

- CAUDAL DE VENTILACIÓN

Para este parámetro en particular y al ser directamente el valor mínimo exigido, lo que se decidió fue aumentar el caudal de ventilación a 376.08 m<sup>3</sup>/h y a 752.163 m<sup>3</sup>/h, que, si se dividen por el caudal mínimo del RITE, se queda en un ratio con un valor “mínimo” de 1.5 y máximo de 2. Sin olvidar lo comentado en el punto “Diámetro”, se realizaron cálculos para determinar: el régimen en el que se encontraba el fluido ( $n_{RE}$ ) y el coeficiente de convección (h) con el software de simulación EES [53], de los que se obtuvo que el régimen en todos los diámetros y con ratios distintos siempre eran turbulentos y con valores superiores a 10 000, en el caso del coeficiente de convección, sucedió lo que se advirtió en los diferentes estudios, que el coeficiente de transferencia de calor se reduciría al aumentar el diámetro. Por lo que la elección final de diámetro se verá influenciada por la reducción de la demanda térmica que resulte de la combinatoria entre diámetro y caudal de ventilación.

- LONGITUD

Al igual que la profundidad, se ha decidido elegir valores simétricos que aprovechen lo máximo el espacio que se tiene, por ello la elección del valor máximo será 30 metros y no los, casi, 32 metros de espacio útil que se tienen para la instalación (27 metros de jardín y los 4.4 metros de acera), pues como se ve en la Figura 43, los tubos tienen una longitud de 1, 2.5 y 5 metros. Estos valores se tomaron en cuenta en el momento de la creación de los ficheros externos para el estudio de viabilidad, el cual se explicó en el apartado 4.2.2.1 Estudio de Sensibilidad.

Z [m]	Ø [mm]	nº tub	$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}$	L <sub>tubo</sub> [m]
3	160	1	1.5	10
<b>4.5</b>	<b>200</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
6	250	3	2	30

**Tabla 6. Metodología. Valores estudio de Sensibilidad**

En la Tabla 6, y a modo de resumen, se observan los valores considerados como mínimos, nominales y máximos para cada uno de los parámetros que se han explicado anteriormente.

### 5.3 CONFORT Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

La importancia de una rehabilitación no se basa únicamente en el hecho de reducir la carga térmica del edificio, sino en el confort térmico que da ésta. Como se verá en el CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN esto a veces no sucede por lo que resulta necesario incorporar diferentes medidas que vayan a favor de este confort.

Ya en el apartado 3.2 CONFORT. VENTILACIÓN se comentó, brevemente, cuáles son los índices que miden el confort, así que a continuación se explicarán la metodología de cálculo de éstos y las herramientas que se utilizaron para obtenerlos.

El Voto Medio Estimado (PMV) es un índice basado en el confort o bienestar que sienten los usuarios, este *voto* se refleja por medio de una escala de sensación térmica de 7 niveles [15]. Para la estimación de este índice, se deben conocer los valores típicos metabólicos y de aislamiento de la ropa que se utilizan en la estimación de modelos como el de Fanger, y el valor de temperatura operativa o el de temperatura ambiente y el de irradiación de las paredes.

+3	Muy Caluroso
+2	Caluroso
+1	Ligeramente Caluroso
0	Neutro
-1	Ligeramente Fresco
-2	Fresco
-3	Muy Fresco

**Tabla 7. Escala de Sensación Térmica**

Este valor predice el valor medio de los votos sobre la sensación térmica que emitirá un grupo de personas, dando una distribución estadística acerca del valor medio pero lo que se necesita saber es la predicción cuantitativa que se obtienen de este voto y que dé un porcentaje estimado de personas insatisfechas o PPD, que es lo que calcula este índice. Como se puede ver en la Ecuación 1, nunca se tendrá una satisfacción del 100%.

$$PPD = 100 - 95e^{(0.03353 \cdot PMV^4 - 0.2179 \cdot PMV^2)}$$

**Ecuación 1. Determinación PPD**

En la Figura 44, se aprecia mucho mejor la dependencia que tiene el Porcentaje estimado de insatisfechos con el voto medio estimado.

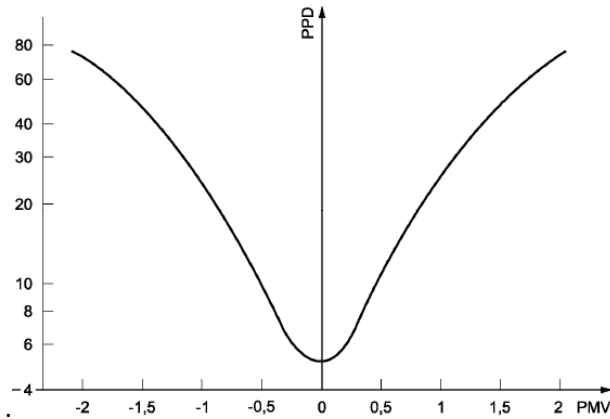


Figura 44.  $PPD = f(PMV)$

Conocidos de qué dependen los índices que determinan el control, en la Tabla 8 se exponen los valores típicos que se utilizaron para su cálculo. A continuación, se procede a explicar cómo se calcularon en el presente TFM.

	Invierno	Verano
Velocidad del aire [m/s]	1.419	2.838
Tasa metabólica [met]	1.2	1.2
Nivel de ropa [clo]	1	0.5

Tabla 8. Valores Determinar PMV [Fuente: CBE Thermal Comfort Tool]

En la Figura 45, se ve el rango de Temperaturas operativas a la que deben estar los despachos para que el índice PMV esté entre  $\pm 1$ .

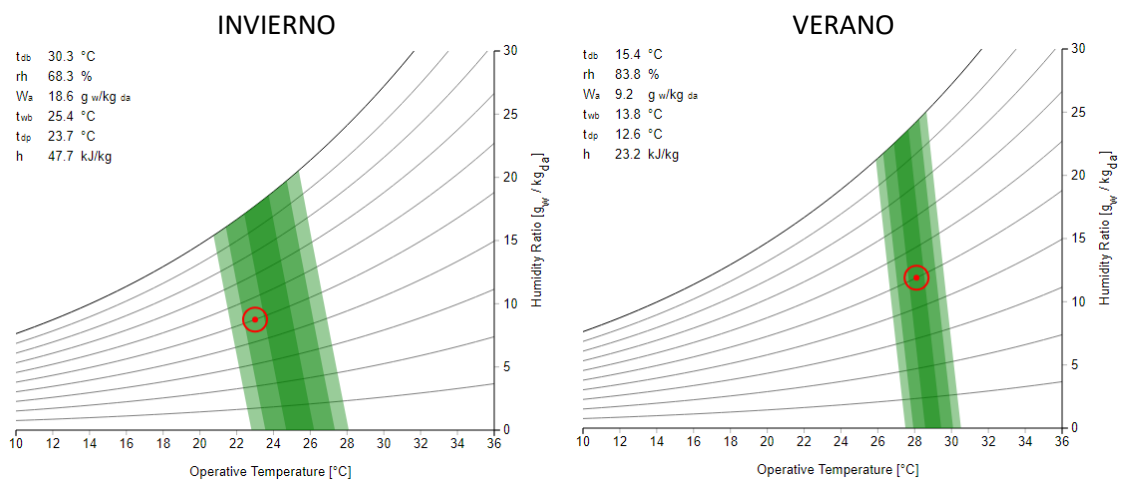


Figura 45. Rango de Temperaturas Operativas de Confort [Fuente: CBE]

### 5.3.1. Simulación Confort TRNSYS

En el modelo que se heredó, el *Typemanager* de Confort no existía, como se puede ver en el lado izquierdo de la Figura 46. Como se ha visto en la Tabla 8 hay diferentes valores para el cálculo del PPD, los cuales dependen de si la estación del año es invierno o verano.

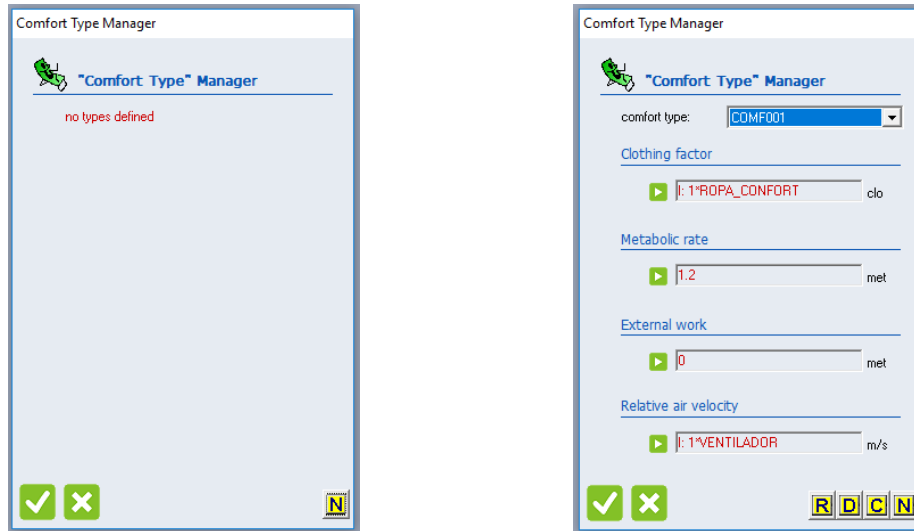


Figura 46. *Typemanager* Confort

Por lo que se procede a crear este *Typemanager*, se introdujeron nuevas variables en la calculadora "V\_ICTA\_Tout", que se convierten en *inputs* para el *Building*. Seguidamente se debe crear en TRNSYS un fichero que gestione estos valores de Confort. A la derecha de la Figura 46 se ve que este fichero de gestión se nombró como *COMF001*. El *Building* tiene como *outputs* estos índices por lo que se procedió a la creación de estas salidas para así poder determinar el porcentaje de disconfort.

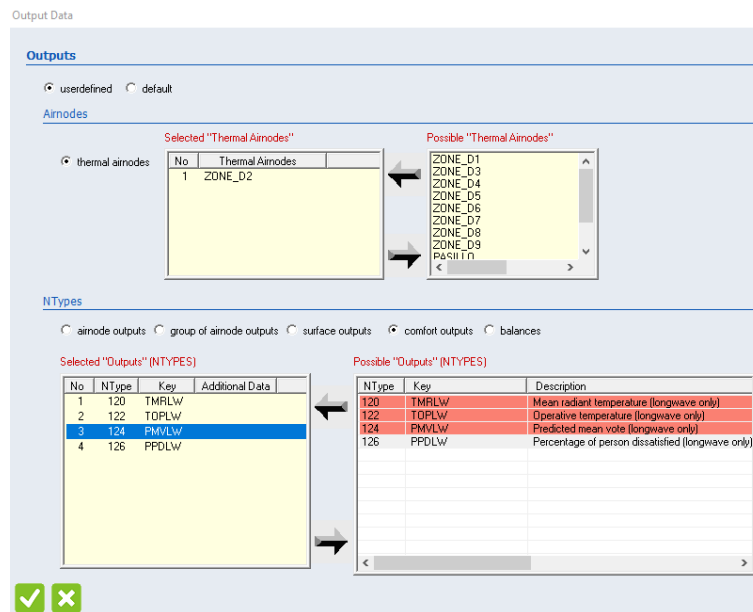
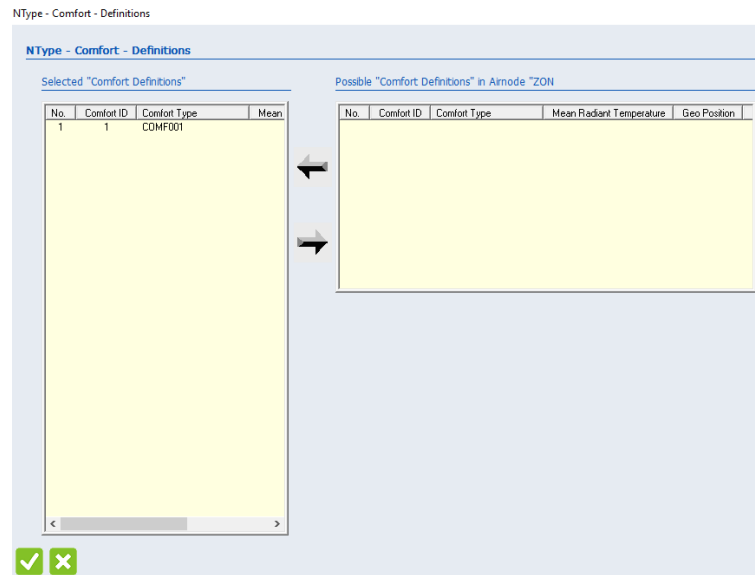


Figura 47. Creación Salidas *Building*



**Figura 48. Definición del Confort. Creación Salidas *Building***

En la Figura 47 e Figura 48 se ve el proceso de creación de cada uno de los puntos, se advierte que la creación de las salidas no se puede realizar conjunta, se deben elaborar por separado cada uno de los despachos.

En el CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN se darán los valores que se obtuvieron al simular el diseño final propuesto del intercambiador con estas nuevas salidas. Aunque se adelanta, que el porcentaje de insatisfechos es superior al 60%, por lo que se plantea la instalación de sistemas de climatización que aseguren el confort. De esta manera, el Intercambiador de Calor Tierra-Aire se utiliza para precalentar el aire de entrada al sistema de climatización, proceso que se indicó como “eficaz” en los climas mediterráneos [54], que es el clima de la ciudad de Valencia

## 5.4 ESTUDIO TECNICO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL

En este apartado se describirán: los indicadores económicos que se necesitan para el estudio técnico-económico y el análisis medioambiental.

### 5.4.1. Estudio Técnico-económico

Para estudiar el impacto económico que tienen las diferentes propuestas, se considerarán sólo tres indicadores económicos, que son:

- Valor Presente Neto

El Valor Presente Neto (VAN) determina el valor real de todos los flujos efectivos futuros. El resultado de la Ecuación 2 tiene diferentes interpretaciones. Si el VAN calculado es mayor que cero, el proyecto crea valor; si el VAN es negativo, el proyecto producirá pérdida y debería rechazarse y, finalmente, si el VAN es cero, el proyecto ni crea, ni pierde valor.

$$VAN = C_a \cdot \frac{1}{int - inf} \cdot \left( 1 - \left( \frac{1 + inf}{1 + int} \right)^{SL} \right) - C_i$$

**Ecuación 2. VAN**

- Tasa Interna de Retorno

La Tasa Interna de Retorno (TIR) indica la rentabilidad que tiene el proyecto, si se compara ésta a la vez con varios proyectos, se reflejaría claramente la rentabilidad de uno sobre otro. Por ejemplo, si se tienen varios proyectos con VAN=0 y se calcula la TIR de cada uno de ellos, el proyecto que presente una TIR superior a la de los demás, reflejaría que dicho proyecto es el que creará más valor con respecto a los otros.

$$0 = C_a \cdot \frac{1}{TIR - inf} \cdot \left( 1 - \left( \frac{1 + inf}{1 + TIR} \right)^{SL} \right) - C_i$$

**Ecuación 3. TIR**

Como se puede ver la Ecuación 3 es similar a la Ecuación 2 pero el VAN está igualado a cero y la tasa de interés es sustituida por las siglas de la TIR, además este cálculo es más complejo que el del VAN o el PR por lo que se utilizará el complemento *Solver* para su resolución.

- Periodo de Amortización

El Periodo de Amortización o Retorno indica el tiempo que pasará hasta recuperar la inversión. Al contrario que la TIR, cuanto menor sea el valor, más rápido se recupera la inversión, siempre y cuando este valor sea inferior a la vida útil del proyecto.

$$0 = C_a \cdot \frac{1}{int - inf} \cdot \left( 1 - \left( \frac{1 + inf}{1 + int} \right)^{PR} \right) - C_i$$

**Ecuación 4. PR**

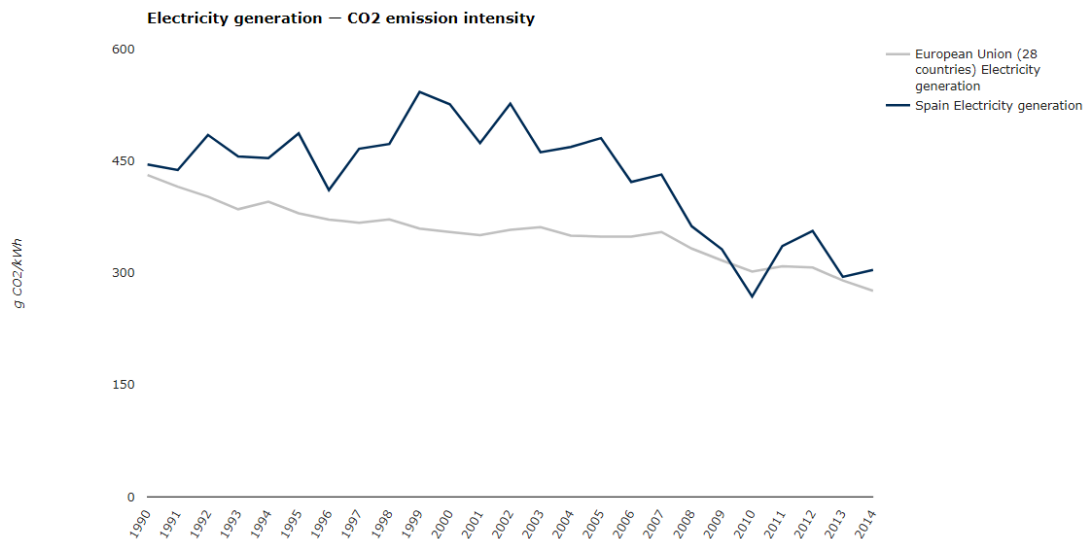
Para la realizar el estudio se deben determinar ciertos parámetros, que son de gran importancia, son el caso de la Tasa de interés o *int*, que aparece en las Ecuación 2 y Ecuación 4; la tasa de inflación o *inf*, que aparece en las tres ecuaciones anteriores. Estos valores se obtuvieron por

intermedio del TFM de Masip Sanchis [55] pero para el caso de España y representan promedio de los tres últimos años, estos valores se pueden ver en la Tabla 38.

Los otros dos parámetros que aparecen a lo largo estas tres ecuaciones son: el Coste de Inversión o  $C_i$ , el valor de este coste dependerá del apartado de la simulación que se esté estudiando, en el CAPÍTULO 8. PRESUPUESTO se podrán encontrar todos los coste de inversión que tienen las propuestas y, por último, el Coste de ahorro o  $C_a$ , que es el coste que se obtiene, en el caso de este TFM, de multiplicar el precio de la electricidad ([55] y Tabla 38) por las demandas eléctricas de calefacción y refrigeración que resultaron de cada una de las propuestas simuladas. Para obtener las demandas eléctricas, se dividieron las demandas térmicas entre el *Performance Factor* (PF) de calefacción y refrigeración. Estos PF se obtuvieron de los *PF maps* del artículo [56] para un óptimo de frecuencia y para alfas menores de 0.5. Se obtuvieron en el óptimo de frecuencia, debido al control que se encuentra actualmente en la instalación [6].

#### 5.4.2. Estudio Medioambiental

Para finalizar con esta sección, se describirá impacto que van a tener las propuestas de rehabilitación en el medioambiente.



**Figura 49. Emisiones de CO<sub>2</sub>. Generación de Electricidad [55]**

Como se verá en el siguiente capítulo, las propuestas de rehabilitación y el estudio de sensibilidad van a reducir más de un 20% las demandas térmicas del edificio, lo que sucede es que estas demandas, se van a tener que cubrir con electricidad, que si nos fijamos en la Figura 49 las emisiones que se emiten por la generación de electricidad en España es muy superior a la de la Unión Europea. En particular, para el año 2014, que es el valor que se considerará para el estudio del impacto ambiental del presenta trabajo, el dióxido de carbono emitido por España es un 10.12% superior que al de la Unión Europea, aunque si se compara con las emisiones de final de los años 90 y principios de los 2000, se puede apreciar una reducción del 42% en las emisiones por lo que implica indirectamente, la descarbonización de España y de Europa en general.



# CAPÍTULO 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El presente capítulo se discutirán los resultados de las medidas de rehabilitación que se expusieron en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, y siguiendo el mismo orden. A continuación, se procederá al estudio de viabilidad de un sistema geotérmico de muy baja temperatura [19], como se dijo anteriormente, se partirá de un diseño de referencia para realizar un estudio de sensibilidad, que dará finalmente un diseño final para el intercambiador.

Seguidamente se hará un análisis de la propuesta del edificio final y el diseño del intercambiador en diferentes climatologías, donde se verá el uso del control del intercambiador y el cumplimiento de la normativa vigente y del estándar Passivhaus.

Otro punto importante que se tendrá en cuenta en el edificio y ciudad objeto de estudio, a parte de la reducción de la demanda térmica, es el confort que se tiene en las oficinas. Además de analizar diferentes equipos auxiliares que suplan el resto de demanda que no es capaz de reemplazar el intercambiador de calor.

Finalmente, se concluirá este capítulo con un estudio técnico-económico y ambiental de las diferentes medidas tomadas con anterioridad.

## 6.1 PROPUESTA DE REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO

La representación y discusión de los resultados que dan la mejora de la estanqueidad y de la envolvente del edificio, se expondrán a lo largo de este apartado. Para una correcta interpretación de todos los resultados gráficos expuestos durante todo este capítulo, se debe aclarar que las barras en color granate y azul oscuro son las demandas térmicas del edificio y que las líneas rojas y azules representan los porcentajes de reducción, y/o incremento, de las demandas térmicas.

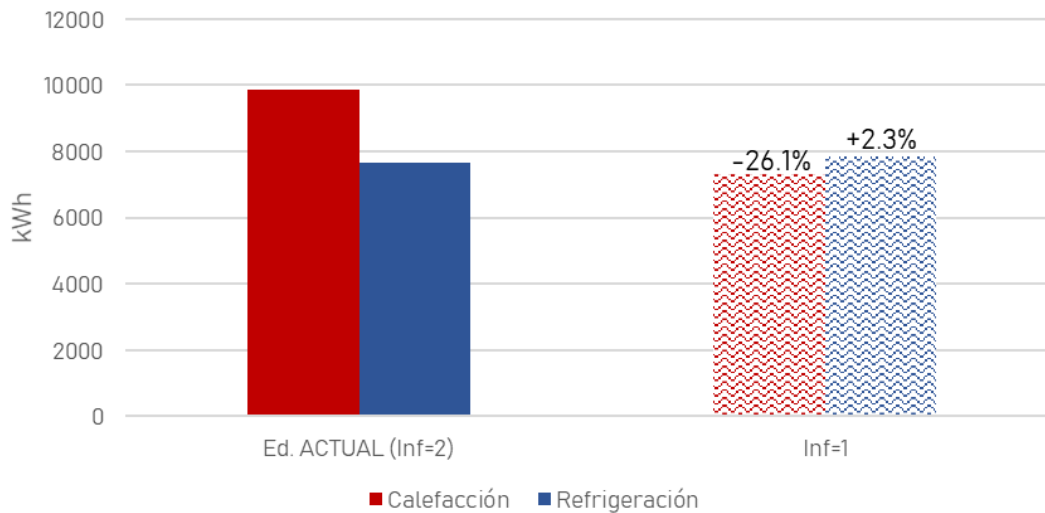
### 6.1.1. Estanqueidad

Como se sugirió en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, se harían tres ensayos de *Blower Door*, el primero tendrá una infiltraciones de  $2\text{h}^{-1}$  ( $\text{inf}=2$ ) y tiene unas cargas anuales de Calefacción y Refrigeración de 9883 kWh y 7660 kWh, respectivamente.

Durante la rehabilitación hecha en Andorra, el segundo ensayo de *Blower Door* dio unas infiltraciones de a  $1,1\text{ h}^{-1}$  [47], por esto se entiende, que una vez selladas una gran parte de las infiltraciones del edificio, el segundo ensayo tenga unas infiltraciones de  $1\text{h}^{-1}$  ( $\text{inf}=1$ ). Esta reducción de las infiltraciones ha derivado en una reducción del 26% en la Calefacción y en un aumento del 2% en la Refrigeración como se pueden ver en la Tabla 9.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Calefacción [%]	Refrigeración [%]
Ed. ACTUAL (Inf=2)	9883	7660	--	--
Inf=1	7303	7834	-26.1	2.3

**Tabla 9. Demanda Térmica. Primera reducción infiltraciones**



**Figura 50. Demanda Térmica. Primera reducción infiltraciones**

El aumento y la reducción de las demandas térmicas que se aprecian en la Figura 50 se deben al correcto sellado de los huecos, pues estas fugas de aire perjudicaban a la calefacción del edificio, pues el aire caliente se filtraba hacia el exterior y entraba al edificio sin ser tratado y con una temperatura más baja que la del interior del edificio. Por otro lado, esto mismo sucede con la refrigeración, siendo en algunas ocasiones en beneficio propio, pues en momentos donde el edificio no estaba climatizado, el aire “fresco” se filtraba y hacía que el caliente saliera; en este caso al reducir las infiltraciones el aire se mantiene dentro del edificio y no se fuga, reteniendo el calor y reduciendo las renovaciones de aire no controladas.

Como se ha comentado en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, para que la rehabilitación cumpla la normativa vigente se deben tener en cuenta ciertos parámetros o cálculos que se encuentran en: DB HE-1 y/o apéndices de este mismo documento, información de vital importancia para la correcta rehabilitación del edificio. Para acceder correctamente a esta información, se debe saber: la Zona climática del Edificio, la Densidad fuentes internas del Edificio y el porcentaje y orientación de los acristalamientos.

- Zona Climática del Edificio.

Como se puede ver en la Figura 51 y según el apéndice B.1, la Zona Climática (ZC) de Valencia es la B3. La letra informa sobre la severidad climática de invierno y el número la severidad climática de verano.

Toledo	C4	445
Valencia/València	B3	8
Valladolid	D2	704

**Figura 51. Zona Climática de Valencia**

Más adelante se denotará la importancia de diferenciar entre severidad climática de invierno o verano.

- Densidad fuentes internas

La densidad de fuentes internas ( $C_{FI}$ ) es el promedio horario de la carga térmica total debida a fuentes internas y que viene dada por la Ecuación 5 y que proporciona el DB HE-1 en su apéndice A.

$$C_{FI} = \frac{\sum C_{oc}}{7 \cdot 24} + \frac{\sum C_{il}}{7 \cdot 24} + \frac{\sum C_{eq}}{7 \cdot 24}$$

**Ecuación 5. Densidades fuentes internas**

Donde:

$\Sigma C_{oc}$  es la suma de las cargas sensibles nominales por ocupación [ $W/m^2$ ], por hora y a lo largo de una semana tipo

$\Sigma C_{il}$  es la suma de las cargas nominales por iluminación [ $W/m^2$ ], por hora y a lo largo de una semana tipo

$\Sigma C_{eq}$  es la suma de las cargas nominales de equipos [ $W/m^2$ ], por hora y a lo largo de una semana tipo.

$$C_{FI} = 10.5 \frac{W}{m^2}$$

Para una mejor comprensión de cómo se obtuvieron los 10.5  $W/m^2$ , en el ANEXO 1.1. Densidad Fuentes internas se encuentran todas las tablas que contienen los diferentes valores que se deben sustituir en la Ecuación 5.

En función de este valor de densidades de las fuentes internas, se va la tabla A.1 del apéndice A del DB HE-1, Figura 52, se tiene que el edificio objeto de estudio tiene una Carga interna ALTA.

Carga interna	Densidad de las fuentes internas, $C_{FI}$ [ $W/m^2$ ]
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	9 – 12
Muy alta	> 12

**Figura 52. Carga interna en función de  $C_{FI}$ . Tabla A.1. DB HE-1.**

- Porcentaje y orientación de los acristalamientos

Con los datos aportados en el ANEXO 1.2. Porcentaje y Orientación de los Acristalamientos, se afirma que los acristalamientos están orientados mayoritariamente al ESTE y el porcentaje de huecos que se encuentran en esta orientación es del 38.9%. Obtenidos los valores de ZC,  $C_{FI}$  y orientación, se continúa con los cálculos.

- Elección acristalamientos

De momento se ha sugerido dos *Blower Door*, el tercero se deberá llevar a cabo después del cambio de acristalamientos y del correcto sellado de las carpinterías de las ventanas. Para la

correcta elección de los cristales, se deberían tener en cuenta los valores límites del apéndice D del DB HE-1. Para el uso correcto de este apéndice, se deben tener en cuenta ZC,  $C_{Fi}$  y orientación, así que para la zona climática B3, que tiene una ALTA carga interna y que tiene un porcentaje de huecos del 38.9% orientados al este, el valor a tener en cuenta para la elección del acristalamiento es el *Factor solar modificado límite de huecos  $F_{Hlim}$* , que se encuentra en el recuadro azul de la Figura 53 y el valor de la *Transmitancia límite de huecos  $U_{Hlim}$* , que se encuentra en el recuadro verde de la Figura 53.

### D.2.7 ZONA CLIMÁTICA B3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	<b><math>U_{Mlim}</math>: 0,82 W/m<sup>2</sup> K</b>
Transmitancia límite de suelos	<b><math>U_{Slim}</math>: 0,52 W/m<sup>2</sup> K</b>
Transmitancia límite de cubiertas	<b><math>U_{Clim}</math>: 0,45 W/m<sup>2</sup> K</b>
Factor solar modificado límite de lucernarios	<b><math>F_{Llim}</math>: 0,30</b>

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim}$ W/m <sup>2</sup> K				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Media, alta o muy alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8	4,9	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3	4,3	5,7	5,7	-	-	-	0,57	-	-
de 31 a 40	3,0	4,0	5,6	5,6	-	-	-	0,45	-	0,50
de 41 a 50	2,8	3,7	5,4	5,4	0,53	-	0,59	0,38	0,57	0,43
de 51 a 60	2,7	3,6	5,2	5,2	0,46	-	0,52	0,33	0,51	0,38

Figura 53. Valores límite Apéndice D DB HE-1.

Como se ha señalado anteriormente, la transmitancia límite de los huecos ( $U_{Hlim}$ ) es de 3.7 W/m<sup>2</sup>K y el Factor solar (g) es de 0.87, este último valor se obtiene de una serie de cálculos que se realizan en base al factor  $F_{Hlim}$ , los cuales se encuentran en el ANEXO 1.3. Cálculo del factor solar (g). Determinadas estas dos características de los acristalamientos, se eligen los cristales por medio de la herramienta virtual CalumenLive [48], se realiza una búsqueda del acristalamiento con los requisitos técnicos deseados, los acristalamientos que aparecen cumplen los requisitos técnicos indicados por el usuario y, además siguen configuraciones comerciales. Las características del cristal elegido se encuentran en la Tabla 10, al igual que los valores del cristal que se tiene actualmente.

	Elegido	Actual
UVentana	1 W/m <sup>2</sup> ·K	5.74 W/m <sup>2</sup> ·K
gVentana	0.38	0.83

Tabla 10. Características del Cristal

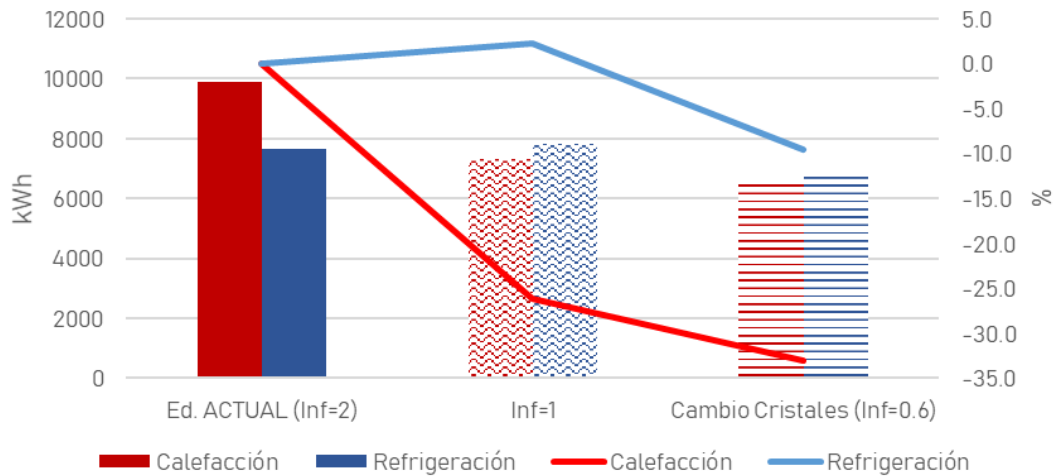
Elegidos y cambiados los cristales, se sellarían correctamente las carpinterías de todas los acristalamientos en el momento de su cambio, para que éste tenga un mayor impacto en la reducción de la carga térmica y en las infiltraciones, como ya se explicó en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA. Considerando este último cambio para la mejora de la estanqueidad del edificio, se procede a realizar el tercer ensayo, con éste último se deberían obtener unas infiltraciones de 0.6 h<sup>-1</sup> (inf=0.6). Con respecto a la primera reducción de infiltraciones, en la Tabla 11 se ve el cambio de cristales ha tenido una mayor repercusión en la demanda de

refrigeración que en la de calefacción, siendo esta reducción de un 11.5% en la refrigeración y de un 9.4% en la calefacción.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Calefacción [%]	Refrigeración [%]
<b>Ed. ACTUAL (Inf=2)</b>	9883	7660	--	--
<b>Inf=1</b>	7303	7834	-26.1	2.3
<b>Cambio Cristales (Inf=0.6)</b>	6616	6933	-33.1	-9.5

**Tabla 11. Demanda Térmica. Cambio Cristales y Segunda Reducción Infiltraciones**

Si se comparan estos datos con respecto al estado actual del departamento, como se observa en el Figura 54, esta reducción es más visible en la calefacción que en la refrigeración, siendo un 33.1% en la Calefacción y un 9.5% en la Refrigeración.



**Figura 54. Demanda Térmica. Cambio Cristales y Segunda Reducción Infiltraciones**

Con todo lo dicho anteriormente, se refleja la importancia que tiene una correcta elección en las características de los cristales y a su vez, la importancia de este cambio en sí, pues en edificios existentes donde la demanda de refrigeración tenga un gran peso en el cómputo total de la demanda térmica del edificio, este cambio puede tener una reducción del 10% o más si este cambio se hace a todo el edificio y no sólo a una pequeña parte de éste.

Siguiendo el hilo conductor que tiene una rehabilitación, se procede al análisis de los resultados para la mejora en la envolvente.

- Mejora Envolvente Térmica

Una vez hecho el edificio lo más estanco posible (apartado anterior) y explicados los diferentes métodos para la mejora de la envolvente (CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA), se procede a la discusión de los resultados al haber simulado estos 3 métodos, para finalmente exponer las diferentes razones por las que el Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior, SATE, es el procedimiento que se sugiere para la mejora de la envolvente.

Se recuerda que los tres métodos para la mejora de la envolvente son:

- M1. Inyección de Aislamiento en la Cámara de Aire

- M2. Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE)
- M3. Aislamiento Térmico por el Interior del Edificio

Se ha simulado estos tres métodos para evaluar cuál ofrece más ventajas a la envolvente a la par de un mayor beneficio energético.

En el apartado “Elección acristalamientos”, se tuvieron en cuenta los valores límites de la Figura 53 para la mejora de los huecos del edificio. Al ser valores límite que el CTE impone al edificio de referencia<sup>7</sup>, se entiende que utilizar valores inferiores a estos, el edificio tendrá una disminución en la carga térmica. En el caso de la envolvente del edificio, se deberán elegir una composición de materiales que tengan una transmitancia térmica en los muros inferior a  $U_{Mlim}=0.82 \text{ W/m}^2\text{K}$ , dentro de esta composición, el material más importante en materia energética es el aislamiento térmico y el valor del espesor, que como se dijo en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA serán el EPS con un espesor de 7 cm.

En la Tabla 12 se ven los valores de transmitancia que tiene la fachada del edificio en la actualidad, el valor límite y los tres valores de transmitancia para cada método.

Caso	U [W/m <sup>2</sup> ·K]
Ed. Actual	1.59
Valor límite	0.82
M1. Inyección	0.58
M2. SATE	0.39
M3. Aislamiento Interior	0.36

**Tabla 12. Valores de Transmitancia. Fachada Edificio**

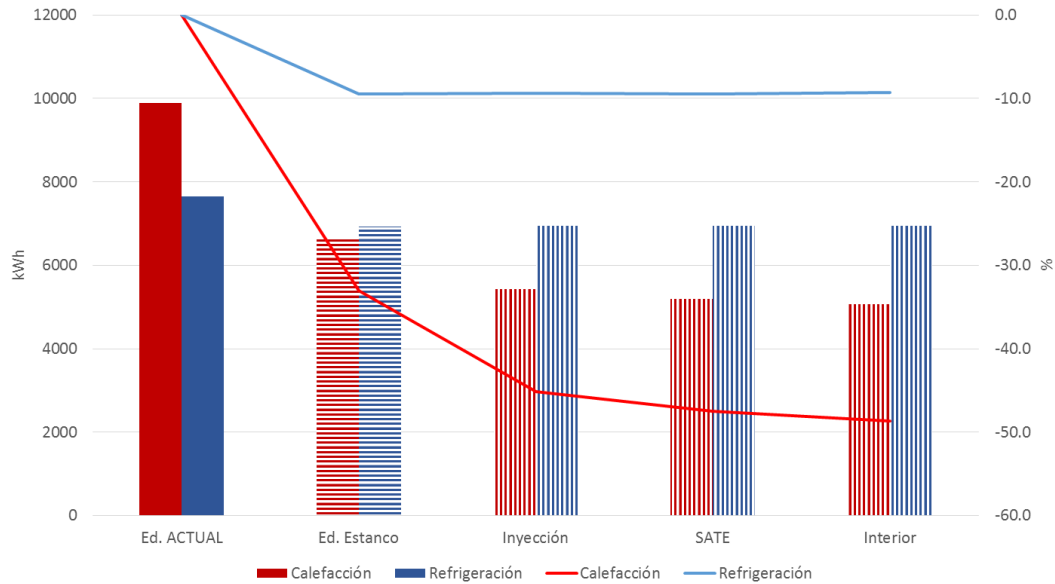
En esta misma tabla se observa, que la transmitancia del edificio es un 48% superior a la transmitancia del valor límite  $U_{Mlim}$ , asimismo se refleja que cualquiera de los tres métodos cumple este mismo valor límite, siendo un 29%, inferior para la inyección de aislamiento en la cámara de aire, un 52% inferior con el SATE y 56% menor con el aislamiento por el interior de edificio. Visto que cumple la transmitancia térmica de cualquiera de los tres métodos, la elección de cuál de estos métodos es beneficioso para el edificio dependerá del impacto que tenga en la reducción de la carga térmica y de las ventajas que puedan brindar.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Calefacción [%]	Refrigeración [%]
<b>Ed. Actual</b>	9883	7660	--	--
<b>Ed. Estanco</b>	6616	6933	-33.1	-9.5
<b>Inyección</b>	5422	6939	-45.1	-9.4
<b>SATE</b>	5189	6939	-47.5	-9.4
<b>Interior</b>	5074	6949	-48.7	-9.3

**Tabla 13. Demanda Térmica. Envolvente Térmica**

<sup>7</sup> El edificio de referencia se define con la misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio, e iguales obstáculos remotos que el edificio objeto.

Con los datos de la Tabla 13, se entrevé que la reducción en la carga de calefacción es mayor que la de refrigeración, si esta reducción se ve desde el punto de vista del edificio estanco, se tienen una reducción del 18% si se inyecta aislante en la cámara de aire; si se pone el SATE, se reducirá un 21% y, por último, si se instalan los paneles en el interior del edificio, se reducirá un 23%.



**Figura 55. Demanda Térmica. Envoltente Térmica**

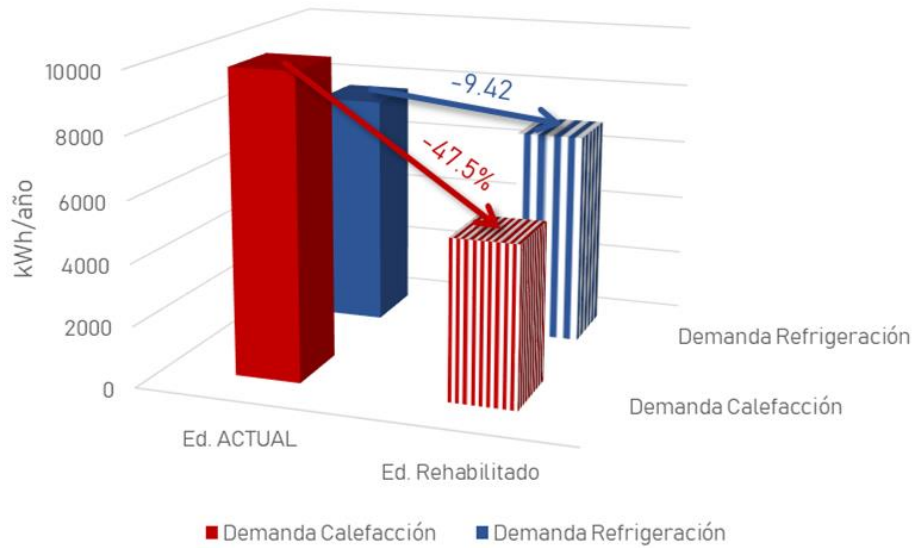
Asimismo, en la Figura 55 se ve que la reducción en la calefacción es casi constante con cualquiera de los tres métodos. Con estos resultados el método que, a priori, es más favorable para el edificio es la instalación de módulo por interior del edificio pero en conversaciones con GMG Arquitectos [51] y como se ve en la Tabla 14, el Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE) tiene más ventajas con respecto a los otros dos métodos.

	Inyección	SATE	Interior
<b>Reducción puentes térmicos</b>	✗ 0	✓ 3	✗ 0
<b>Inercia térmica</b>	✗ 0	✓ 3	! 2
<b>Pérdidas m<sup>2</sup></b>	✗ 0	✗ 0	✓ 3
<b>Limpieza cámara de aire</b>	✓ 3	✗ 0	✗ 0
<b>Condensaciones</b>	✓ 3	✗ 0	! 2
<b>Invasivo</b>	✗ 0	✗ 0	✓ 3

**Tabla 14. Ventajas y Desventajas. Métodos de Aislamiento**

Con las ventajas vistas anteriormente y teniendo en cuenta que el SATE es el método utilizado en el estándar Passivhaus, éste es el que se propone como mejora para la envoltente del edificio.

A modo de resumen, en la Figura 56 se ve gráficamente las reducciones del 47% en la carga térmica de calefacción y del 9% en la carga térmica de refrigeración.



**Figura 56. Carga Térmica. Propuesta Rehabilitación Finalizada**

Estas reducciones son proporcionales a los kWh·año/m<sup>2</sup> del edificio, como se puede apreciar en la Tabla 15.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración
Ed. Actual	9883 kWh	7660 kWh	--	--	40 $\frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$	31 $\frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$
Ed. Rehab	5189 kWh	6939 kWh	-47.49%	-9.42%	21 $\frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$	28 $\frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$

**Tabla 15. Carga Térmica. Propuesta de Rehabilitación Finalizada**



## 6.2 VIABILIDAD DEL SISTEMA GEOTÉRMICO PARA EL PRETRATAMIENTO DEL AIRE DE VENTILACIÓN

Durante este punto, se discutirá y propondrá un diseño para el sistema ventilación, sistema que tendrá criterios de energía sostenible y de respeto con el medio ambiente. En concreto, se diseñará un Intercambiador de Calor Tierra-Aire (ICTA) para el tratamiento del aire exterior y que aporte el caudal mínimo exigido por el RITE.

### 6.2.1. Diseño de referencia y parámetros de diseño

Debidas a las restricciones vistas en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, el diseño base o de referencia es:

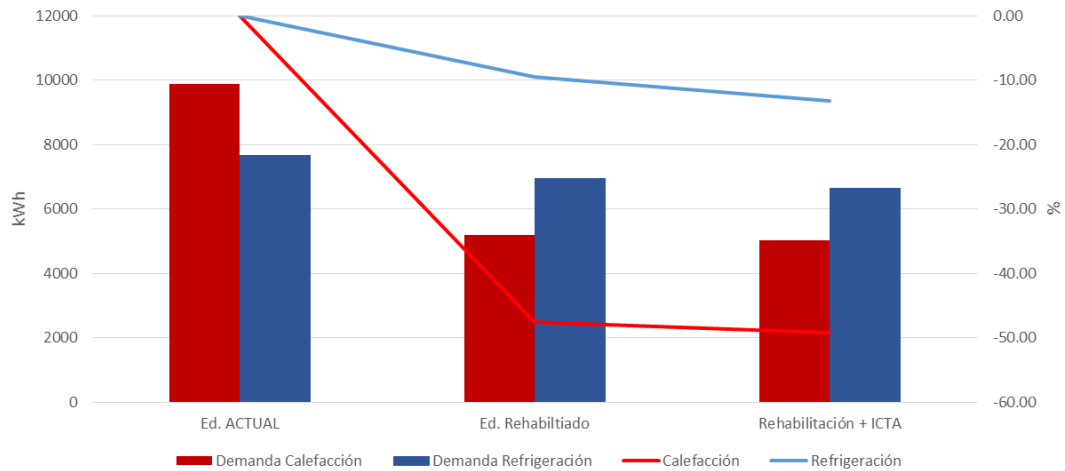
- $Z=4,5\text{m}$
- $\varnothing=200\text{mm}$
- $n^{\circ}$  tubos= 2
- $\dot{m} \rightarrow$  al mínimo determinado por el RITE
- $L_{\text{tubo}}=20\text{m}$

En la Tabla 16 se ve que el intercambiador tiene una reducción en la demanda térmica del edificio muy baja, de hecho es poco notable en los kWh·año/m<sup>2</sup> del edificio. De hecho, en la Figura 57 esta reducción es casi imperceptible en la calefacción, haciéndola casi constante pero en la refrigeración este intercambiador sí que parece reducir esta carga térmica.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración
Ed. ACTUAL	9883 kWh	7660 kWh	--	--	$40 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$	$31 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$
Ed. Rehabilit	5189 kWh	6939 kWh	-47.49%	-9.42%	$21 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$	$28 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$
Reha + ICTA	5022 kWh	6647 kWh	-49.19%	-13.22%	$20 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$	$27 \frac{\text{kWh}\cdot\text{año}}{\text{m}^2}$

**Tabla 16. Demanda Térmica. Intercambiador de Calor**

Debido a la poca percepción que se tiene al tener en cuenta los valores de las demandas térmicas del edificio en la actualidad, se tomarán como referencia los valores del edificio una vez rehabilitado, pues es después de esta propuesta donde el intercambiador de calor tendrá una mayor repercusión. Se tendrán en cuenta los valores del edificio en la actualidad, una vez se haya seleccionado el diseño final del intercambiador.



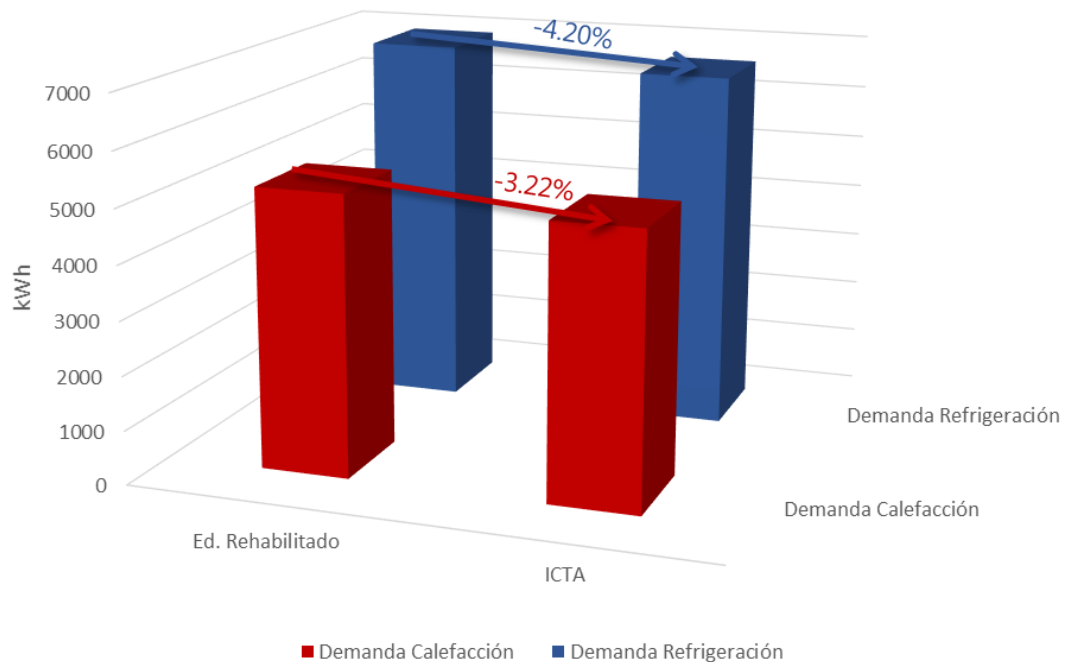
**Figura 57. Demanda Térmica. Intercambiador de Calor**

Con lo dicho anteriormente, se tienen que la reducción en la calefacción con el edificio rehabilitado y un intercambiador de calor con un diseño de referencia es de un 3% y en la refrigeración de un 4%, como se ve en la Tabla 17.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>Ed. Rehabilitado</b>	5189 kWh	6939 kWh	--	--
<b>Rehab+ ICTA</b>	5022 kWh	6647 kWh	-3.22%	-4.20%

**Tabla 17. Demanda Térmica. Respecto al Edificio Rehabilitado**

A partir de ahora, las siglas *ICTA* harán referencia al Edificio rehabilitado y al intercambiador de calor en conjunto, en la Figura 58 se refleja este cambio de denominación.



**Figura 58. Demanda Térmica. Respecto al Edificio y Cambio Denominación**

Como se comentó en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, para una correcta elección en los parámetros de diseño se han tenido en cuenta los datos y los diferentes estudios que se han

comentado en el CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE pero a la vez respetando los valores comerciales. Además, como se comenta en el ANEXO 2.1. Control Intercambiador, se integrará un control de temperaturas al intercambiador enterrado, teniendo dichas simulaciones una nueva denominación y que es: ICTA (T), como se puede apreciar en la Tabla 47 de dicho anexo.

### 6.2.2. Estudio de Sensibilidad

Los valores que se tendrán en cuenta para las cuatro variables de diseño y la variable de operación son los de la Tabla 18.

Z [m]	∅ [mm]	nº tub	$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}$	L <sub>tubo</sub> [m]
3	160	1	1.5	10
<b>4.5</b>	<b>200</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
6	250	3	2	30

**Tabla 18. Parámetros Estudio de Sensibilidad.**

Los valores centrales son los tomados como valores nominales y que son los mismos que se han utilizado para el diseño de referencia. Se debe tener en cuenta que, a la hora de realizar el estudio de sensibilidad, de los cinco parámetros se mantienen cuatro fijos con sus correspondientes valores nominales y se variará uno, para así poder ver la influencia que tiene cada parámetro de forma aislada en el diseño del intercambiador.

Se iniciará el estudio de sensibilidad con la profundidad, irá seguido por el diámetro, se continuará con el número de tubos, después con el flujo volumétrico de aire impulsado por el ventilador y, finalmente, con la longitud de cada tubo.

- PROFUNDIDAD

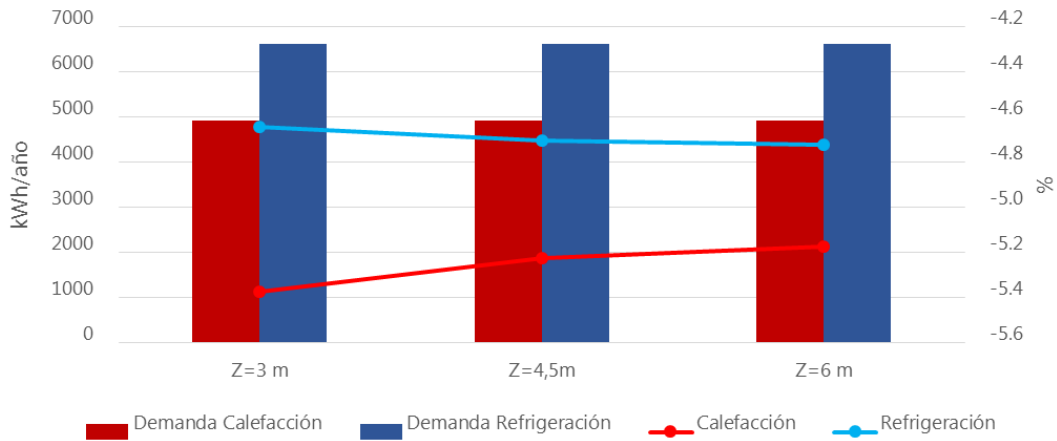
En este caso, se verá la influencia que tiene el aumentar o disminuir un metro y medio la profundidad de la zanja por donde irán los tubos.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>Z=3 m</b>	4910 kWh	6616 kWh	-5.37%	-4.64%
<b>Z=4,5m</b>	<b>4918 kWh</b>	<b>6612 kWh</b>	<b>-5.22%</b>	<b>-4.70%</b>
<b>Z=6 m</b>	4921 kWh	6611 kWh	-5.18%	-4.72%

**Tabla 19. Estudio de Sensibilidad. Profundidad**

Como se puede apreciar en la Tabla 19, la influencia de la profundidad del intercambiador no se aprecia, pues siguen teniendo valores en torno a un 5.2% de reducción en la calefacción y de un 4.7% de reducción en la refrigeración. Por lo que el coste energético en este parámetro es despreciable, como se ve en la Figura 59, pero no el económico, pues el coste que tiene realizar una excavación a una profundidad de 3 metros es un 50% menor que a 4.5 metros y 100% menor si se hace a 6 metros.<sup>8</sup> Por esta razón, se propone que la profundidad a la que se instale el intercambiador sea de 3 metros.

<sup>8</sup> Estos porcentajes se obtuvieron de multiplicar el coste unitario de excavación [62] por los diferentes m<sup>3</sup> que se debían excavar.



**Figura 59. Estudio de Sensibilidad. Profundidad**

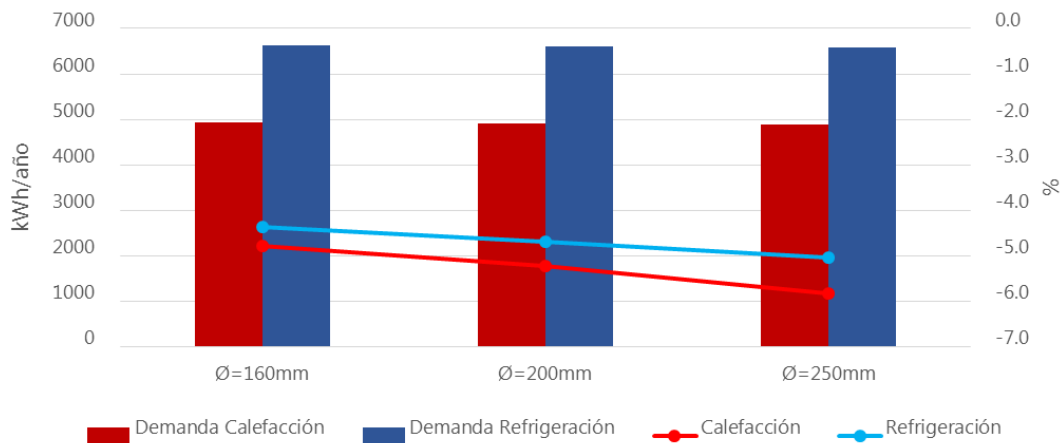
- DIÁMETRO

En la Tabla 18, el diámetro no sigue una tendencia simétrica como el resto de valores del estudio de sensibilidad por tener valores comerciales para así poder tener valores que se acerquen a la realidad.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>Ø=160mm</b>	4941 kWh	6635 kWh	-4.78%	-4.37%
<b>Ø=200mm</b>	4918 kWh	6612 kWh	-5.22%	-4.70%
<b>Ø=250mm</b>	4886 kWh	6589 kWh	-5.84%	-5.04%

**Tabla 20. Estudio de Sensibilidad. Diámetro**

Como se ve en la Tabla 20, a mayor diámetro, la reducción de la calefacción es un 0.47% menor y en la refrigeración un 0.35%, tendiendo a la linealidad, como se aprecia en la Figura 60. Por lo que se ve en la influencia favorable que tiene un mayor diámetro de tubería, por lo que los resultados sugieren instalar tubos con mayor diámetro, en este caso: un diámetro de 250 mm.



**Figura 60. Estudio Sensibilidad. Diámetro**

- NÚMERO DE TUBOS

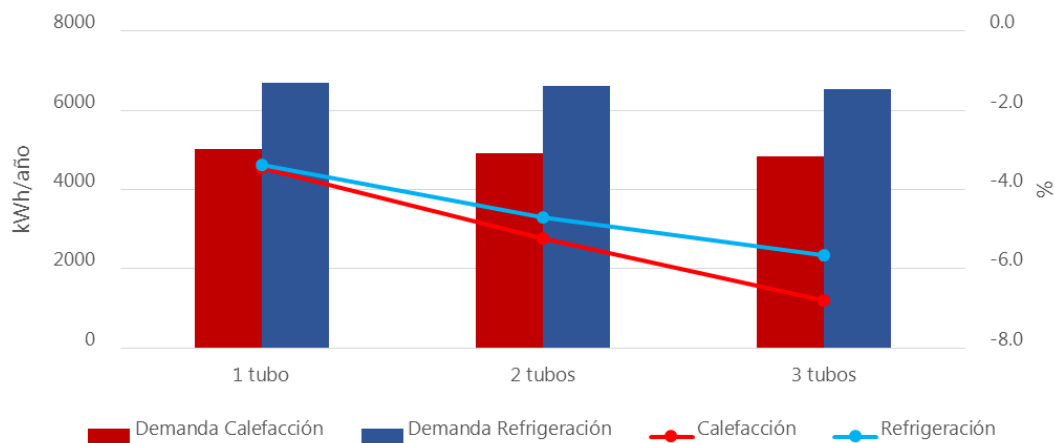
El número de tubos variará de 1 a 3 tubos, el espacio entre ellos viene dado por lo comentado en el CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE. Se debe recordar que al tener el valor de referencia  $L_{TUBO}$

20 metros, la longitud total del intercambiador también variará, pues la longitud depende del número de tubos y de la longitud de cada uno de ellos. Por ello cuando se tenga un tubo, se tendrán 20m de intercambiador total; cuando se tengan dos tubos, se tendrán 40m de intercambiador y, finalmente, cuando se tenga 3 tubos se tendrán 60m de intercambiador.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>1 tubo</b>	5010 kWh	6705 kWh	-3.46%	-3.37%
<b>2 tubos</b>	<b>4918 kWh</b>	<b>6612 kWh</b>	<b>-5.22%</b>	<b>-4.70%</b>
<b>3 tubos</b>	4836 kWh	6545 kWh	-6.80%	-5.67%

**Tabla 21. Estudio de Sensibilidad. Número de Tubos**

De igual manera que sucede en el “DIÁMETRO”, la influencia del número de tubos en el intercambiador sigue una tendencia casi lineal (Figura 61). Por lo que, a mayor cantidad de tubos, más se reduce la demanda térmica del edificio. Comparándolo con los dos parámetros anteriores, este parámetro tiene mayor influencia en la demanda térmica del edificio. Siendo 1% y 0.6% en calefacción y en refrigeración, respectivamente, si se comparan las demandas con respecto al diámetro de 250 mm.



**Figura 61. Estudio de Sensibilidad. Número de Tubos**

Con lo dicho anteriormente, se ve que la mejor opción es instalar un intercambiador con tres tubos.

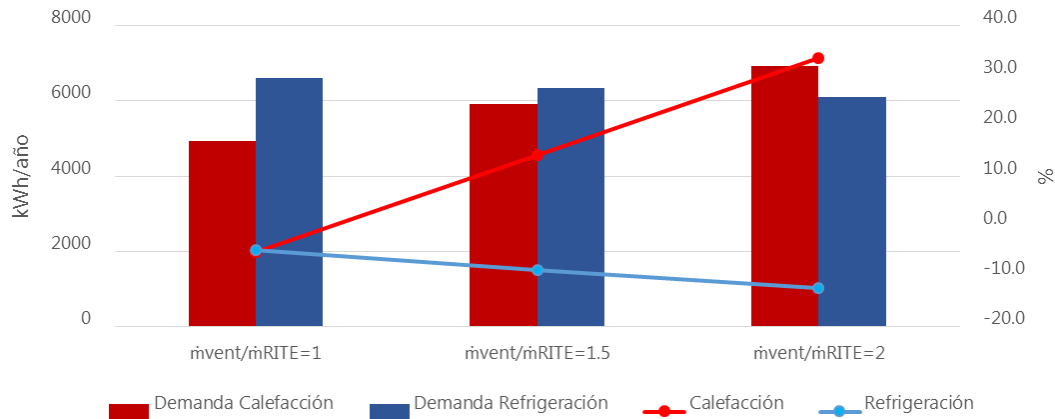
- CAUDAL DE VENTILACIÓN

El parámetro de operación es el ratio entre el caudal de ventilación del intercambiador entre el caudal mínimo de ventilación establecido por el RITE ( $\dot{m}_{VENT}/\dot{m}_{RITE}$ ), el valor nominal es 1 y los otros dos valores son la influencia que tiene el introducir un 50% más o el doble de lo establecido por el RITE.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}=1$	4918 kWh	6612 kWh	-5.22%	-4.70%
$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}=1.5$	5921 kWh	6332 kWh	14.09%	-8.75%
$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}=2$	6924 kWh	6091 kWh	33.42%	-12.21%

**Tabla 22. Estudio de Sensibilidad. Ratio Ventilación**

De los 5 parámetros, la ventilación es con diferencia el que más influencia tiene. En la Tabla 22, los valores de la demanda de calefacción son un 14% y un 33% superiores al aumentar un 1.5 o dos veces, respectivamente, la ventilación del intercambiador. Sucediendo lo contrario con la demanda de refrigeración, la cual se reduce de un 12% al introducir el doble de lo establecido por el RITE.



**Figura 62. Estudio de Sensibilidad. Ratio Ventilación**

Esta influencia se notó en la estanqueidad del edificio, pues al reducir las infiltraciones de aire la demanda de calefacción se redujo y la de refrigeración aumentó un 2% (Tabla 9). Lo que sugieren estos datos y la Figura 62 es que se debe introducir el caudal mínimo establecido por el RITE en invierno y duplicar el caudal en verano.

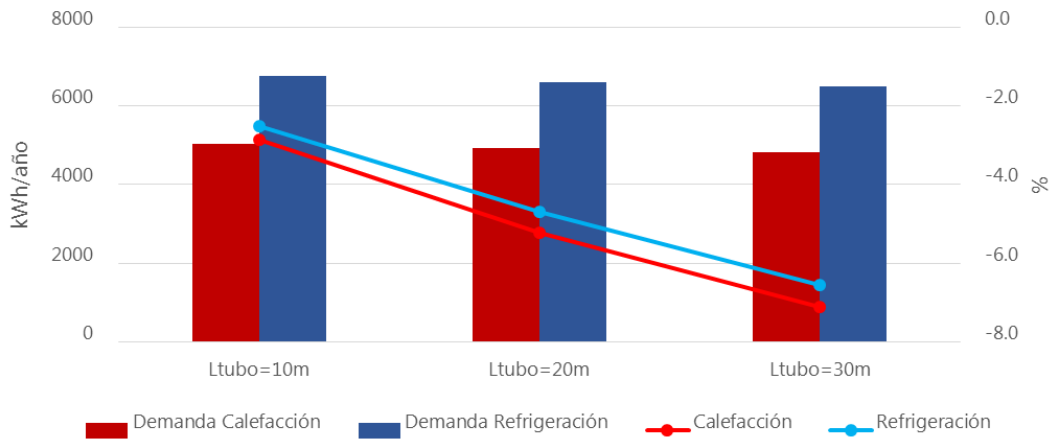
- LONGITUD

En este caso, se variará la longitud de los tubos y se dejará la cantidad de tubos en 2, cuando la longitud del tubo sea 10 m, la longitud del intercambiador será de 20m; cuando la longitud del tubo sea 20m, la longitud total del intercambiador será 40m y, finalmente, para un tubo de 30 metros, la longitud del intercambiador es de 60m.

	Demanda Calefacción	Demanda Refrigeración	Calefacción	Refrigeración
<b>Ltubo=10m</b>	5041 kWh	6763 kWh	-2.85%	-2.53%
<b>Ltubo=20m</b>	<b>4918 kWh</b>	<b>6612 kWh</b>	<b>-5.22%</b>	<b>-4.70%</b>
<b>Ltubo=30m</b>	4820 kWh	6483 kWh	-7.12%	-6.56%

**Tabla 23. Estudio de Sensibilidad. Longitud**

La longitud es el segundo parámetro que más influencia tiene en el intercambiador enterrado, esto se debe a gran medida a la cantidad de recorrido que tiene el aire dentro del él. En la Tabla 23, se ve la reducción del 7% en la calefacción y el 6% en el refrigeración al utilizar una longitud de 30 metros en cada tubo, reducciones que son cercanas al 3% de la demanda al utilizar tubos de 10 metros de longitud.



**Figura 63. Estudio de Sensibilidad. Longitud**

Así mismo, en la Figura 63 se observa que las reducciones en las demandas térmicas son lineales, por lo que los resultados sugieren que a mayor longitud en los tubos, menor será la demanda térmica del edificio.

Como conclusión de este apartado, se sacó en claro la importancia de tener un ventilador de velocidad variable para poder aumentar o disminuir el ratio de ventilación en verano o en invierno, la profundidad del intercambiador apenas reduce la carga térmica del edificio; en el caso de el diámetro, el número de tubos y la longitud los resultados sugerían reducciones al tener valores mayores en cada uno de estos parámetros para este estudio de sensibilidad en concreto.

### 6.2.3. Diseño Final Propuesto

Como se observó en el apartado anterior, al existir tantos valores, las configuraciones para un diseño final son múltiples. Por ello, en el ANEXO 2.2. Estudio Paramétrico se realizó un estudio más detallado de la influencia que tienen cada uno de los parámetros en la demanda térmica del edificio. Este estudio concluyó que únicamente había una configuración posible que redujera considerablemente la demanda térmica total del edificio y es la que se expone en Tabla 24.

Z [m]	∅ [mm]	nº tub	$\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}$	L <sub>tubo</sub> [m]
3	250	3	1 (INV) 2 (VER)	30

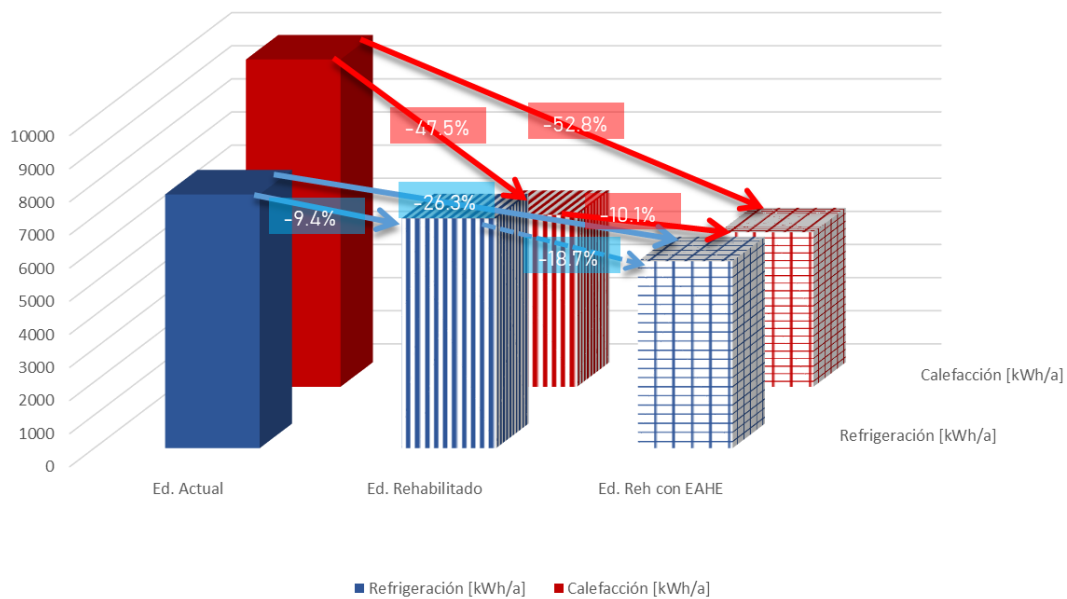
**Tabla 24. Diseño Final Propuesto**

En la Tabla 25 se refleja la gran repercusión que tiene el intercambiador en la demanda de refrigeración del edificio, reduciéndose ésta en un 26% con respecto al edificio existente y un 52% en la demanda de calefacción con respecto al edificio existente.

	Refrig [kWh]	Calef [kWh]	Refrig [%]	Calef [%]	Refrig [%]	Calef [%]	Refrig [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Calef [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
<b>Ed. Actual</b>	7660	9883	--	--	--	--	31	40	70
<b>Ed. Rehabilitado</b>	6939	5189	-9.4	-47.5	--	--	28	21	49
<b>Ed. Reh + ICTA</b>	5644	4665	-26.3	-52.8	-18.7	-10.1	23	19	41

**Tabla 25. Demanda Térmica. Diseño Final**

Acorde con lo dicho anteriormente, en la Figura 64 se refleja el gran impacto que tiene la rehabilitación del edificio en la calefacción y, a su vez, el impacto que tiene la correcta elección de un diseño para el Intercambiador de Calor Tierra-Aire en la refrigeración del edificio.



**Figura 64. Demanda Térmica. Diseño Final**

#### 6.2.4. Análisis en diferentes climatologías

Como estudio futuro se propone un estudio en distintas climatologías europeas, el cual se encuentra fuera del ámbito de este Trabajo Final de Máster y esto se debe a la necesidad de saber los diferentes tipos de envolventes que hay en cada país actualmente y la que hubo en los años 70. Por ello, se propone un estudio en diferentes climatologías españolas, donde la construcción era similar en los años 70 y donde se pueden utilizar los mismos materiales que se utilizaron en la actualidad.

Las ciudades españolas elegidas para este análisis son: Valencia, además de ser la ciudad objeto de estudio, tiene un clima mediterráneo; Madrid tiene una climatología continental y, finalmente, Bilbao por su clima atlántico.

En estas climatologías no sólo se analizará el impacto que tiene el diseño final en la demanda térmica del edificio, también se verá si cumple el porcentaje mínimo de ahorro dado por el CTE, los valores mínimos de kWh·año/m<sup>2</sup> del estándar *Passivhaus*, así como el uso del control de temperaturas.



		Severidad Climática	
Ciudad		INVIERNO	VERANO
Valencia		B	3
Madrid		D	4
Bilbao		C	1

**Tabla 26. Climatología. Severidad Climática**

Para saber el impacto que tiene el diseño final del intercambiador, se deben saber los valores de demanda térmica que tiene el edificio en cada una de las ciudades, los cuales se simularon en las diferentes climatologías y se ven en la Tabla 27.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Total [kWh]	Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
<b>Valencia</b>	9883	7660	17543	40	31	70
<b>Madrid</b>	18327	5848	24175	73	23	97
<b>Bilbao</b>	15133	2939	18071	61	12	72

**Tabla 27. Demanda Térmica. Edificio Inicial Climatologías**

En la tabla anterior se ve que el edificio tiene más demanda de calefacción en Bilbao y en Madrid, pero menos en refrigeración, si se comparan con las demandas del edificio objeto de estudio en Valencia. Al tener el mismo edificio en distintas climatologías, se realizan simulaciones sobre el archivo de la rehabilitación final, pero cambiando el fichero climatológico y se obtienen los siguientes resultados:

	Calef [kWh]	Refrig [kWh]	Total [kWh]	Calef [%]	Refrig [%]	Total [%]	Calef [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Refrig [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
<b>Valencia</b>	5189	6939	12128	-47.5	-9.4	-30.9	21	28	49
<b>Madrid</b>	11107	5188	16295	-39.4	-11.3	-32.6	44	21	65
<b>Bilbao</b>	8716	3087	11804	-42.4	5.1	-34.7	35	12	47

**Tabla 28. Demanda Térmica. Edificio Rehabilitado Climatologías**

La Tabla 28 se observa que las demandas de calefacción se reducen en torno al 40% en cualquiera de las tres ciudades pero, en cambio, la refrigeración se reduce en torno al 10% en Valencia y Madrid pero no en Bilbao, donde aumenta un 5%. Por lo que los resultados sugieren una reducción de la demanda térmica del edificio al ser rehabilitado, independientemente de la climatología en la que se encuentre, siendo en todo caso más favorable para la calefacción.

	Calef [kWh]	Refrig [kWh]	Total [kWh]	Calef [%]	Refrig [%]	Total [%]	Calef [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Refrig [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
<b>Valencia</b>	4665	5644	10309	-10.1	-18.7	-15.0	19	23	41
<b>Madrid</b>	10024	3646	13670	-9.8	-29.7	-16.1	40	15	55
<b>Bilbao</b>	7997	1974	9971	-8.3	-36.1	-15.5	32	8	40

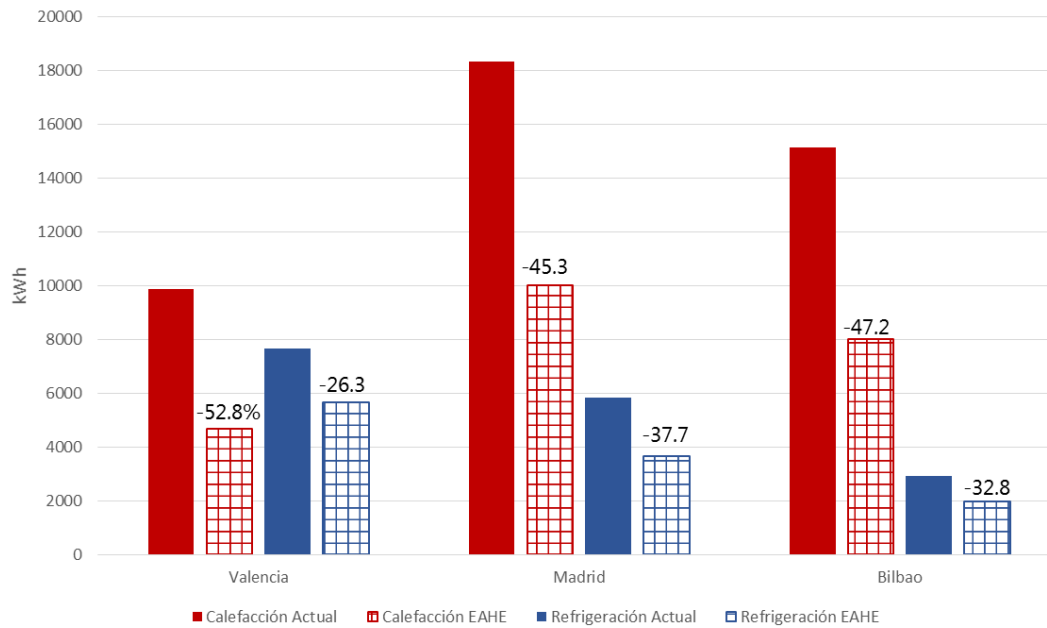
**Tabla 29. Demanda Térmica. Edificio Diseño Final ICTA Climatologías**

Para analizar el impacto del intercambiador en las diferentes climatologías, se necesita, además de los ficheros climatológicos, que se utilizaron en las simulaciones anteriores, el valor que tiene las conductividades del terreno en cada ciudad para poder introducirlas en el fichero externo del *Type*, que se han obtenido en el trabajo llevado a cabo en el marco del proyecto europeo de Horizonte 2020 GEOT€CH [57]. Hecho esto, en la Tabla 29 se refleja que la instalación del intercambiador de calor después de la rehabilitación tiene más impacto en la refrigeración que en la calefacción, siendo mucho mayor en la ciudad de Bilbao, donde ésta se reduce en un 36%.

	Calef [kWh]	Refrig [kWh]	Total [kWh]	Calef [%]	Refrig [%]	Total [%]	Calef [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Refrig [kWh/m <sup>2</sup> ·a]	Total [kWh/m <sup>2</sup> ·a]
<b>Valencia</b>	4665	5644	10309	-52.8	-26.3	-41.2	19	23	41
<b>Madrid</b>	10024	3646	13670	-45.3	-37.7	-43.5	40	15	55
<b>Bilbao</b>	7997	1974	9971	-47.2	-32.8	-44.8	32	8	40

**Tabla 30. Demanda Térmica. Demanda Conjunta Climatologías**

Si se hace este análisis en conjunto (Rehabilitación + ICTA) como se aprecia en la Tabla 30, se tiene una mayor reducción de la demanda térmica total en Madrid, luego en Bilbao y, finalmente, en Valencia.



**Figura 65. Demanda Térmica. Demanda Conjunta Climatologías**

Aunque en la Figura 65, se ve que individualmente la calefacción y refrigeración se reducen más en Valencia y en Madrid, respectivamente. Bilbao no sobresale por el aumento de su demanda de refrigeración al simularse la rehabilitación, esto puede ser, por ejemplo, a que el espesor de aislamiento no es el correcto y esto se debe a que no se profundizó ni en la rehabilitación, ni se hizo un estudio para el diseño final del ICTA para ninguna de las dos ciudades, puesto que estos estudios se encuentran fuera del alcance del presente Trabajo Final de Máster, pero se plantea como estudio futuro.

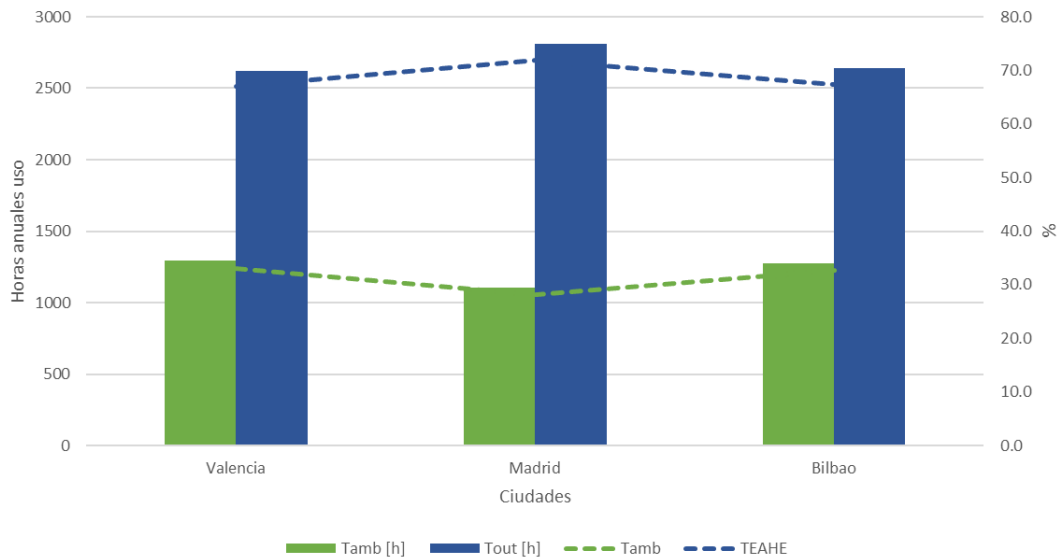
Analizado el impacto que tiene el intercambiador en las diferentes ciudades, se procede al análisis del sistema de control del Intercambiador de Calor Tierra-Aire, *ICTA*. Como se comentó

en el apartado 4.2.3. Combinación de los modelos, el control determina qué temperatura entra al DTRA, si la Temperatura ambiente (Tamb) o la Temperatura de salida del ICTA (Tout).

	Tamb [h]	Tout [h]	Tamb [%]	Tout [%]
Valencia	1292	2623	33.0	67.0
Madrid	1102	2813	28.2	71.8
Bilbao	1278	2637	32.6	67.4

**Tabla 31. Horas Funcionamiento Control. Climatologías**

En la Tabla 31 se encuentran las 3915 horas en las que el edificio está demandando energía, se puede ver que el 68.7% de las horas el aire que entra al recinto procede del intercambiador y el resto proviene del ambiente sin pasar por el ICTA. El uso del control en las diferentes ciudades va ligado directamente con la reducción de los kWh-año/m<sup>2</sup>, pues al usar la temperatura de salida del intercambiador (Tout), se necesitan menos horas de funcionamiento del equipo de climatización y viceversa.



**Figura 66. Horas Funcionamiento Control. Climatologías**

El análisis en diferentes climatologías también se centra en la importancia de cumplir con la normativa vigente de España, una vez hecha una rehabilitación o como lo es en este caso una propuesta, además se verá si cumplen el *Estándar Passivhaus*.

Para determinar si el edificio cumple con el *porcentaje de ahorro mínimo de la demanda energética conjunta, respecto al edificio de referencia*, como establece el apartado 2.2.1.1.2 en la tabla 2.2. del DB-HE1, se necesita saber la demanda del edificio de referencia para cada uno de los edificios en las diferentes climatologías.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Total [kWh]	Calefacción [%]	Refrigeración [%]	Total [%]
Valencia	5884	5667	11551	-43.2	-26.6	-36.1
Madrid	11585	3595	15180	-31.2	-38.8	-33.2
Bilbao	9548	1983	11531	-28.0	-38.9	-30.1

**Tabla 32. Demanda Térmica. Edificio Objeto de Estudio CTE**

Con los valores calculados en el ANEXO 2.3. Demanda Edificio de Referencia y las demandas térmicas de la Tabla 32, las cuales también se hicieron con unas renovaciones del 0.8 como lo dictamina dicho apartado del DB-HE1, se ve que las demandas de calefacción y refrigeración se han reducido más de un 25% en todas las ciudades.

**Tabla 2.2 Porcentaje de ahorro mínimo\* de la demanda energética conjunta respecto al edificio de referencia para edificios de otros usos, en %**

Zona climática de verano	Carga de las fuentes internas			
	Baja	Media	Alta	Muy alta
1, 2	25%	25%	25%	10%
3, 4	25%	20%	15%	0%**

**Figura 67. Porcentaje de Ahorro. Tabla 2.2 DB-HE1**

El porcentaje de ahorro viene dado por la severidad climática de verano de las ciudades, que con la Tabla 26 se saben que es: 3 (Valencia), 4 (Madrid) y 1 (Bilbao) y de la Figura 52 se obtuvo que la carga por fuentes internas es alta en el Edificio. Con estos datos y la Figura 67 se sabe que el porcentaje de ahorro tanto para Valencia como para Madrid debe ser mayor del 15% y para Bilbao de un 25% en su demanda térmica conjunta, por lo que si se contrastan de nuevo la Tabla 32, en concreto la última columna de ésta, se puede comprobar que todas las ciudades han reducido más de un 30% su demanda con respecto al edificio de referencia del CTE, por lo que se concluye que tanto el edificio de Valencia, que es el edificio objeto de estudio de este Trabajo Final de Máster, como los edificios analizadas para Madrid y Bilbao sí que cumplen con la normativa vigente, como se expone en la Tabla 33.

	Porcentaje de Ahorro		
	Final [%]	CTE [%]	Cumple
<b>Valencia</b>	-36.1	-15.0	✓
<b>Madrid</b>	-33.2	-15.0	✓
<b>Bilbao</b>	-30.1	-25.0	✓

**Tabla 33. Cumplimiento Normativa Vigente**

La verificación del *Estándar Passivhaus* exige menos requisitos que la verificación de la normativa vigente, en concreto para cumplir este estándar las demandas de calefacción y refrigeración se miran por separado y no deben ser mayor de 15 kWh·año/m<sup>2</sup> [4]. Con estos valores a cumplir y los porcentajes obtenidos en la Tabla 30, se observa que en algunos casos, Bilbao, se cumple con los valores para la refrigeración y en otros, Valencia, se acerca bastante.

	Calefacción [kWh/m <sup>2</sup> ·a]			Refrigeración [kWh/m <sup>2</sup> ·a]		
	Final	Passivhaus	Cumple	Final	Passivhaus	Cumple
<b>Valencia</b>	19	15	✗ 0	23	15	✗ 0
<b>Madrid</b>	40	15	✗ 0	15	15	✓ 1
<b>Bilbao</b>	32	15	✗ 0	8	15	✓ 1

**Tabla 34. Cumplimiento Estándar *Passivhaus***

En la Tabla 34 se ve que este estándar no se cumple al cien por cien con las medidas tomadas para la ciudad de estudio, Valencia, pero sí que se acerca a los valores, que es uno de los objetivos que se buscaba. De hecho, de las tres ciudades, Valencia es la que se ha quedado un 26% más cerca de este valor, si se comparan con Madrid y Bilbao, las cuales duplican este valor; en el caso de la refrigeración, Madrid y Bilbao sí que cumplen con el valor del estándar, pero Valencia no. Todo esto se debe a que, de las tres ciudades, Valencia es la que tiene los veranos más cálidos en comparación a las otras dos y Madrid y Bilbao tienen los inviernos más fríos en comparación a Valencia.

### 6.3 CONFORT Y SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN

Como se ha visto en el apartado anterior el intercambiador de calor ha sido capaz de reducir las demandas de calefacción y refrigeración en un 52% y 26%, respectivamente. Explicados en la Metodología qué parámetros son los que se miden para conocer el confort de las oficinas del Departamento de Termodinámica Aplicada, se procede a ver el confort que se ha obtenido en el Despacho 3 a lo largo de las diferentes simulaciones, pues no solo prima el ahorro energético sino también el bienestar del usuario y en este caso en concreto, el Despacho 3, es el que está más ocupado a lo largo del año.

Despacho 3		Despacho 9	
Invierno	Verano	Invierno	Verano
6.30%	18.93%	2.47%	20.61%

**Tabla 35. Confort. Rehabilitación**

En la Tabla 35 se ve el Confort que tiene el edificio después de la rehabilitación y la Tabla 36 después de la propuesta de instalación del Intercambiador de Calor Tierra-Aire, como se puede observar en las dos tablas, el confort a penas roza el 18% en verano y el 7% en invierno. Una consecuencia de esto, se debe a que la rehabilitación y el intercambiador enterrado no pueden suplir todo el calor que demanda el edificio y, por consiguiente, no da confort al usuario.

Despacho 3		Despacho 9	
Invierno	Verano	Invierno	Verano
7.62%	17.63%	3.20%	13.78%

**Tabla 36. Confort. Rehabilitación + ICTA**

Para que el edificio dé el confort necesario, se deben añadir equipos de climatización que den el confort necesario a los despachos. Una de las principales fuentes de climatización serían la instalación geotérmica que se encuentra instalada en el patio delantero del DTRA, pero esta instalación se desmantelará dentro de unos años por lo que esta solución no sería duradera, así que se proponen dos sistemas de climatización auxiliares:

- Sustitución de la Bomba de Calor Aire-Agua
- Recuperador de Calor

#### 6.3.1. Sistema de Climatización. Bomba de Calor

En la azotea del Edificio 5J se encuentran instalados los equipos que se utilizaron para el proyecto GeoCool [58], se propone cambiar estos equipos por unos más actuales y de menos potencia, debido a la reducción de la demanda térmica que se obtiene de la rehabilitación y el ICTA, para ello se ha seleccionado la Bomba de Calor EREBA 12H, que tiene 12.95 kW en régimen de fancoils y 13.54 kW en régimen de frío, los fancoils y tuberías se les haría una purga y limpieza profunda para que dieran un mejor servicio.

	Calefacción [kW]	Refrigeración [kW]
P <sub>PICO</sub>	12.86	8.22

**Tabla 37. Potencias Pico. Rehabilitación + ICTA**

En la Tabla 37, se exponen las potencias picos que demanda el sistema y que deberían cubrirse con la Bomba de calor Aire-Agua de CIAT que, además, aumentaría el confort dentro del edificio por la deshumidificación que proporcionan los fancoils para cubrir la carga pico.

### 6.3.2. Sistema de Climatización. Recuperador de Calor

Para obtener un mayor acercamiento a la filosofía de los nZEB, se propone instalar un recuperador de calor en lugar de una Bomba de Calor Aire-Agua.

Por ello, el sistema pasivo que se propone es de la compañía Casals, el modelo en la versión Vertical es ARUMAK 800 BP CTRL-DPH con batería eléctrica modelo BE 1ph ARUMAK 2. Al recuperar alrededor del 79% del calor y tener un control de la humedad, se entiende que el confort aumentará dentro del edificio y, además, la demanda térmica del edificio se verá reducida al consumo eléctrico de los ventiladores del recuperador de calor y del Intercambiador de Calor Tierra-Aire.

## 6.4 ESTUDIO TECNICO-ECONÓMICO Y AMBIENTAL

Vista la viabilidad energética que tiene la rehabilitación del edificio y de las reducciones de demanda que tiene el instalar un Intercambiador de Calor Tierra-Aire, se procede a realizar un estudio técnico-económico y ambiental a pequeña escala de algunas las propuestas que se ha analizado con anterioridad.

### 6.4.1. Estudio técnico-económico de las simulaciones

Como se comentó en el CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA y se ve en la Tabla 38, los valores para la inflación, la tasa de interés y el precio de la electricidad son los valores promedio de los últimos tres años.

inflación	interés	electricidad [€/kWh]
0.35%	2.77%	0.5349

**Tabla 38. Valores Financieros**

Como se verá en la Figura 73, la instalación del intercambiador no es económica, lo que no quiere decir que juntar la instalación con un equipo pasivo no sea rentable, pues al comparar la unión de estas dos propuestas con la rehabilitación, la opción C1 sí que lo es. De hecho y como se ve en la Tabla 39, es la unión de estas dos propuestas la que es más rentable como lo refleja el TIR al ser un 0.15% más rentable, además el tiempo de amortización de 36 años para los dos casos resulta ser más atractivo para la opción C1 que para la B, pues la vida útil de un edificio rehabilitado son 40 años, en cambio la unión del intercambiador de calor con la rehabilitación y los equipos pasivos tienen una vida útil de 50 años, aproximadamente.

	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR
<b>A .Ed. Actual</b>	--	--	--	--	--
<b>B. Ed. Rehabilitado</b>	663	15729	1122	36	3.18%
<b>B1. Ed. Con EAHE</b>	209	26040	-20030	--	--
<b>C. Ed. Completo [Nueva CIAT]</b>	578	50796	-34149	--	--
<b>C1. Ed. Completo [nZEB]</b>	2094	49541	10746	36	<b>3.66%</b>

**Tabla 39. Estudio tecno-económico del Edificio Objeto de Estudio**

Por otra parte, el consumo de electricidad será el que demanden los ventiladores del intercambiador y del recuperador de calor como se apuntó en el apartado 6.3.2. Sistema de Climatización. Recuperador de Calor

#### 6.4.1.1 Estudio técnico-económico a diferentes climatologías

Finalmente, y para concluir el análisis en diferentes climatologías, se procede a realizar los mismos cálculos que se hicieron anteriormente, pero sin tener en cuenta el uso de equipos de climatización y/o pasivos, sólo se analizará la instalación del ICTA y la rehabilitación.<sup>9</sup>

<sup>9</sup> En este caso, el punto "C" que se ve en la Tabla 39 no tiene equipo de climatización y el punto "C1" no estará en el análisis de las climatologías.



	VALENCIA					MADRID					BILBAO				
	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR
A.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
B.	663	15729	1122	36	3.2%	972	15729	8953	21	5.8%	816	15729	4998	26	4.5%
B1.	209	26040	-20030	--	--	307	26040	-17212	--	--	214	26040	-19894	--	--
C.	578	41769	-25122	--	--	1292	41769	-4582	--	--	1008	41769	-12752	--	--

**Tabla 40. Estudio tecno-económico. Diferentes Climatologías**

Como se ve en la Tabla 40, la instalación del ICTA presenta VAN negativos por lo que sólo es rentable la rehabilitación de los edificios en cualquiera de las tres ciudades analizadas, concretamente Madrid tiene el periodo de amortización más corto con lo que se disfrutaría de beneficios durante el resto de su vida útil, que para edificios rehabilitados es alrededor de 40 años.

Vista la poca rentabilidad que tiene la instalación del ICTA, se hace una búsqueda subvenciones a nivel municipal para qué porcentaje de ayudas tendría el uso de energías renovables, la rehabilitación del edificio o la mejora de la envolvente.

	VALENCIA					MADRID					BILBAO				
	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR	Cs [€]	Ci [€]	VAN [€]	PB [años]	TIR
A.	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
B.	663	15729	1122	36	3.2%	972	12583	12099	16	7.6%	816	15729	4998	26	4.5%
B1.	209	14322	-8312	--	--	307	20832	-12004	--	--	214	20832	-14686	--	--
C.	578	30051	-13404	--	--	1292	30811	6376	36	7.2%	1008	36561	-7544	--	--

**Tabla 41. Estudio tecno-económico. Diferentes Climatologías. Subvenciones**

Para el caso de Valencia el porcentaje de subvención por el uso de Energías renovables es del 45% [59], en Bilbao se subvenciona hasta el 20% [60] por el uso de Energías renovables y, por último, en el caso de Madrid hay una subvención del 30% para la mejora de la eficiencia energética de la envolvente y un 30% por uso de energía geotérmica, pero las ayudas no pueden superar el 50%, por lo que se decide que el 30% es para el ICTA y el 20% para la envolvente [61]. En la Tabla 41, se ve que Madrid siguen siendo la ciudad más rentable, de hecho la subvención por la mejora de la envolvente ha hecho que realizar las propuestas a la vez salga más rentable que al ejecutar por separado la inversión del ICTA, la cual tienen VAN negativo.

#### 6.4.2. Estudio medioambiental de las simulaciones

Como conclusión de este apartado y teniendo en cuenta los valores para el estudio medioambiental del CAPÍTULO 5. METODOLOGÍA, se tiene que anualmente el edificio emitirá un 72% menos de CO<sub>2</sub> a la atmósfera cuando se instala una bomba de calor, que cuando se utilizan equipos pasivos, esto se debe a que sólo se está teniendo en cuenta una superficie muy pequeña de todo el edificio y que los consumos de los ventiladores son muy altos, por lo que en beneficio al medioambiente sería mejor el uso de la bomba de calor para el Departamento de Termodinámica Aplicada. Como estudio futuro se plantea la posibilidad de utilizar energías renovables que suplan la demanda de electricidad de los ventiladores.

	Anual	Vida Útil	%
	kgCO <sub>2</sub>	kgCO <sub>2</sub>	
A. Ed. Actual	1175.94	53362.03	0.00
B. Ed. Rehabilitado	376.96	13684.47	-74.36
B1. Ed. Con EAHE	118.65	5384.28	-89.91
C. Ed. Completo [Nueva CIAT]	328.64	14912.99	-72.05
C1. Ed. Completo [nZEB]	1190.16	54007.43	1.21

**Tabla 42. Estudio medioambiental del Edificio Objeto de Estudio**

Para una decisión correcta y debido a los valores de emisiones que se ven en la Tabla 42 y la propuesta futura del uso de fuentes de energías renovables que aporten la electricidad que los ventiladores necesiten, se eligen los equipos pasivos como equipos auxiliares de climatización del edificio, además esta opción, según la Tabla 39, es más rentable que la opción C, que incluso tiene un VAN negativo.

## CAPÍTULO 7. CONCLUSIONES

El presente trabajo se centra en realizar diferentes propuestas para la rehabilitación del Departamento de Termodinámica Aplicada y en estudiar la viabilidad de un Intercambiador de Calor Tierra-Aire (ICTA) que se instalaría en el jardín delantero del Edificio 5J de la Universitat Politècnica de València. Las propuestas de la rehabilitación y del estudio del ICTA se simularon con el programa TRNSYS, que partiendo de un modelo detallado del edificio previamente existente y validado experimentalmente en [6], por lo que las mejoras de la envolvente térmica, se editaron directamente sobre este modelo. En el estudio de viabilidad, se integró el *type 460* en el modelo del edificio, que se había rehabilitado con anterioridad. Importante destacar en esta parte de ejecución del trabajo, lo laborioso y poco amigable que resultó ser el *type 460*, en gran medida por la poca información que hay sobre éste y por la edición de los ficheros externos.

En general, las propuestas de rehabilitación tuvieron un gran impacto en la reducción de la demanda térmica del edificio, pero sobre todo demostró la importancia que tiene el estudio de estanqueidad del edificio, que al reducir las infiltraciones a  $0.6 \text{ h}^{-1}$  y cambiar los cristales redujeron en un 33% la demanda de calefacción y en un 9% la de refrigeración. Una reducción que se nota mucho más al mejorar la envolvente térmica con el Sistema de Aislamiento Térmico por el Exterior (SATE), pues reduce, sobre todo, la demanda de calefacción en un 47% y mantiene la de refrigeración en un 9%. Además, este estudio verifica la importancia de cuantificar y determinar un proceso para la estanqueidad de los edificios en la legislación española, pues actualmente no existe y que, al contrario de los parámetros característicos de la envolvente, sí que se encuentran cuantificados y como se expuso anteriormente, tienen una gran repercusión en la reducción de la demanda térmica del edificio.

Con respecto al estudio de viabilidad del ICTA se demuestra, para este caso en concreto, que la reducción de la demanda térmica del edificio se puede alcanzar a profundidades mínimas (3 metros), reduciendo en un 5% la calefacción y en un 4% la refrigeración. La mayor reducción de la carga térmica se produce cuando el caudal introducido en el ICTA es el mínimo exigido por el RITE en época hibernal, pero se duplica en época estival, lo que reduce las demandas de calefacción y refrigeración en un 5% y un 12%, respectivamente. Del estudio paramétrico, que se detalló en el ANEXO 2.2. Estudio Paramétrico, se demostró que el combinado entre: longitud máxima, número máximo de tubos y diámetro máximo reduce la demanda térmica total del edificio a  $41 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{año}$  que, con respecto al edificio original, es una reducción del 52% en calefacción y un 26% en refrigeración. Por lo que se propone esta combinación como diseño final. Para completar el estudio de viabilidad, se propuso analizar el impacto que tendría el diseño final en diferentes climatologías, además, de verificar si se cumplen los valores determinados por el CTE y el estándar *Passivhaus* en cada una de ellas. Por un lado, para el estudio del ICTA se concluyó que en los climas continentales se utiliza el intercambiador un 71%

de las veces frente al 67% que se utiliza en los climas mediterráneos y atlánticos, este uso tiene un impacto de alrededor del 41%, 39% y 40% en la reducción de la demanda térmica en los climas continentales, mediterráneos y atlánticos, respectivamente. Finalmente, se verificó que los edificios simulados en Valencia, Madrid y Bilbao cumplen con la normativa vigente española al reducir en un 36%, un 33% y un 30% la *demanda energética conjunta con respecto al edificio de referencia*, que debían reducir como mínimo un 15% en Valencia y Madrid y un 25% en Bilbao. Con respecto al estándar *Passivhaus*, sólo dos ciudades: Madrid con una demanda de refrigeración de 15 kWh/m<sup>2</sup>·año y Bilbao con una demanda de refrigeración de 8 kWh/m<sup>2</sup>·año cumplen con el valor límite de 15 kWh/m<sup>2</sup>·año, aunque Valencia, ciudad objeto de estudio, se acercó bastante a los valores límites de calefacción y refrigeración, siendo 19 kWh/m<sup>2</sup>·año la demanda de calefacción y 23 kWh/m<sup>2</sup>·año la demanda de refrigeración.

Para finalizar con el Trabajo Final de Máster se hizo un estudio tecno-económico y medioambiental de las propuestas hechas. Con respecto al edificio estudiado se llegó a dos conclusiones: la rehabilitación es una actuación que resulta económica y energéticamente rentable y, aunque, instalar el ICTA únicamente no tiene rentabilidad, sí que la tiene si se le incorpora un equipo pasivo, que, entre otras cosas, aumenta el confort del edificio. Para completar este apartado y el análisis climatológico se hizo un estudio tecno-económico de la rehabilitación y el ICTA, pero sin tener en cuenta los sistemas de climatización auxiliares. Este estudio, a pequeña escala, determinó que la rehabilitación es la única acción que tiene rentabilidad con respecto a las demás, siendo más rentable en una climatología de tipo continental como la existente en la ciudad de Madrid. La búsqueda de subvenciones, que hicieran rentables las medidas, tampoco fue fructífera, pues en Valencia y Bilbao se subvencionan las instalaciones térmicas, que redujo el coste inicial del ICTA, pero no lo suficiente como para que fueran rentables. En cambio, en Madrid la subvención contempla las dos acciones, lo que hace que el conjunto de acciones sea más rentable en esta ciudad. En contraposición a lo dicho anteriormente, el impacto ambiental que tiene el ICTA, si se compara con el edificio en la actualidad, es de un 90% menor. Por otra parte, el conjunto compuesto por rehabilitación, ICTA y equipo pasivo es el que tiene más rentabilidad, pero el impacto ambiental aumenta en un 1% al compararse con el edificio en la actualidad, esto se debe al elevado consumo eléctrico que tienen los ventiladores, un consumo e impacto que se verán reducidos si se utilizan fuentes de energías renovables.

Como conclusión final, la rehabilitación del DTRA es una medida de mejora energética que tiene grandes beneficios ambientales, económicos y, como no, energéticos. Además, esta acción resalta dos ideas: primera, la importancia que tiene la rehabilitación del parque edificatorio actual y segunda, la urgencia de cuantificar e incorporar en el CTE medidas que determinen la estanqueidad del edificio. Todos estos hechos acercan, por un lado, a la Universitat Politècnica de València a la sostenibilidad energética y, por el otro, a España al cumplimiento de los objetivos del 2020 y a la estandarización de los edificios de consumo casi nulo.

# CAPÍTULO 8. PRESUPUESTO

Para finalizar el Trabajo Final de Máster, se realizará un presupuesto que englobará cuatro grandes partidas:

- Rehabilitación
- Intercambiador de Calor
- Equipos Pasivos
- I+D

Estas partidas se irán explicando una a una a lo largo de este capítulo. Aun así, en el ANEXO 3 PRESUPUESTO se encuentra el presupuesto completo.

## 8.1 PARTIDA REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO

Como se puede ver en la Figura 68, en la partida de la rehabilitación sólo aparecen el precio final que tiene cada una de las unidades de obra. Dentro de estas unidades de obra se han tenido en cuenta los diferentes materiales, la mano de obra de oficiales, peones o ayudantes, según la unidad en la que se encuentre, y, finalmente, los costes directos y de mantenimiento que se generan de éstas, todos estos precios se obtuvieron del Generador de Precios del CYPE [62].

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por unidad	Total
<b>Rehabilitación</b>					
NAS002	Sistema ETICS de aislamiento Térmico por el exterior de fachadas	m <sup>2</sup>	126	70.00 €	8.820.00 €
ZBV03	Sustitución de vidrios de la carpintería por acristalamiento con cámara "SAINT GOBAIN"	m <sup>2</sup>	48	90.26 €	4.332.48 €
NEI020	Sellado estanco de paso de tubos con pieza prefabricada	Ud	100	4.61 €	461.00 €
ZBM010.1	Sistema de estanqueidad y aislamiento entre suelo y obra	m	2	2.94 €	5.88 €
ZBM010.2	Sistema de sellado de las derivaciones individuales con GEL	Ud	50	10.52 €	526.00 €
XFB010	Ensayo Blower Door	Ud	3	527.82 €	1.583.46 €
<b>Total Partida Rehabilitación</b>					<b>15,728.82 €</b>

Figura 68. Partida Presupuestaria de la Rehabilitación.

## 8.2 PARTIDA INTERCAMBIADOR DE CALOR TIERRA-AIRE

Igual que en la partida anterior, se hizo uso del Generador de precios para las unidades de excavación, relleno y tubería del intercambiador, en el caso de los ventiladores se calcularon con el programa Sodeca QuickFan [63] y su costo se obtuvo de la propia página web, los costes de estos ventiladores se tuvieron en cuenta en la parte de tubería.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por unidad	Total
<b>Intercambiador</b>					
ISB04	Tubería para ventilación primaria	ml	132	124.74 €	16,465.68 €
1037737	Ventilador helicoidal. Modelo HEP/EW-25-4/H-B-T-D	Ud	3	876.35 €	2,629.05 €
ADE010	Excavación de zanjas y pozos	m³	270	20.23 €	5,462.10 €
ADR010	Relleno de zanjas para instalaciones	m³	240	6.18 €	1,483.20 €
<b>Total Intercambiador</b>					<b>26,040.03 €</b>

Figura 69. Partida Presupuestaria del ICTA

### 8.3 PARTIDA EQUIPOS PASIVOS

Como se puede ver en la Figura 70, esta partida es muy pequeña y en ella se han tenido en cuenta el coste de los equipos, según precios de Casals [64], el cual se aumentó un 30% para tener en cuenta los diferentes costes directos e indirectos que se puedan generar.

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por unidad	Total
<b>Intercambiador</b>					
RC	Recuperador de Calor Casals modelo ARUMAK 800 BP CTRL-DPH	Ud	1	7.771.79 €	7,771.79 €
<b>Total Intercambiador</b>					<b>7,771.79 €</b>

Figura 70. Partida presupuestaria para los Equipos Pasivos

### 8.4 PARTIDA I+D

Dentro de esta partida se han tenido en cuenta tres unidades distintas y son:

- Personal
- Material Ofimático
- Material de Oficina

Código	Descripción	Unidad	Cantidad	Costo por unidad	Total
<b>Personal Profesional</b>					
MP-PR	Responsable del Trabajo	h	15	51.80 €	777.00 €
MP-RE	Investigador Experto	h	45	23.40 €	1,053.00 €
MP-J	Investigador Junior	Ud	1	32,583.99 €	32,583.99 €
<b>Total Personal Profesional</b>					<b>34,413.99 €</b>
<b>Material Ofimático</b>					
IM-C	Ordenador HP Intel® Core™ i5-7400 CPU 2.33 GHz 8 Gb RAM	Ud	1	89.38 €	89.38 €
IM-EES	Software. EES-Professional Version	Ud	1	120.00 €	120.00 €
IM-OFF	Software. Microsoft Office 2016	Ud	1	83.70 €	83.70 €
IM-TI7	Software. TRNSYS con complementos	Ud	1	1,644.00 €	1,644.00 €
<b>Total Material Ofimático</b>					<b>1,937.08 €</b>
<b>Material de Oficina</b>					
FM-P	Encuadernación e impresión del Trabajo Final de Máster	Ud	1	13.70 €	13.70 €
<b>Total Material de Oficina</b>					<b>13.70 €</b>
<b>Total Partida</b>					<b>36,364.77 €</b>

Figura 71. Partida presupuestaria I+D

Como se puede ver en la Figura 71, el personal profesional viene reflejado por los costes del Responsable del proyecto y el investigador expertos, costes que se obtuvieron de acuerdo a las recomendaciones en la elaboración de presupuesto de I+D+i de la UPV [65]. Para el caso del

investigador Junior, los costes son los generados por la elaboración e investigación del presente Trabajo Final de Máster y que se enseñan en la Figura 72.

 <b>Unidad Investigador Junior</b>	
Descripción	Total
<b>Investigador Junior</b>	
Salario bruto anual	24,111.29 €
Retenciones	8,472.71 €
<b>Total Unidad Investigador Junior</b>	<b>32,584.00 €</b>


**Figura 72. Partida I+D. Unidad Investigador Junior**

Dentro del coste del material ofimático se ha tenido en cuenta: el uso del 100% del ordenador durante los 11 meses que se llevó acabo el presente Trabajo. Según las recomendaciones de la UPV [65], el periodo de amortización son 6 años.[55] Además, se tuvo en cuenta la instalación de una versión diferente del TRNSYS (V.17) [5] y de la comprar del Type 460 [35] y el uso de otro programa de simulación como es el EES, y, finalmente, el paquete de Office para el cálculo, escritura y presentación del Trabajo Final de Máster.

Finalmente, esta partida presupuestaria termina con la impresión de este trabajo y teniendo un costo de 13.70€.

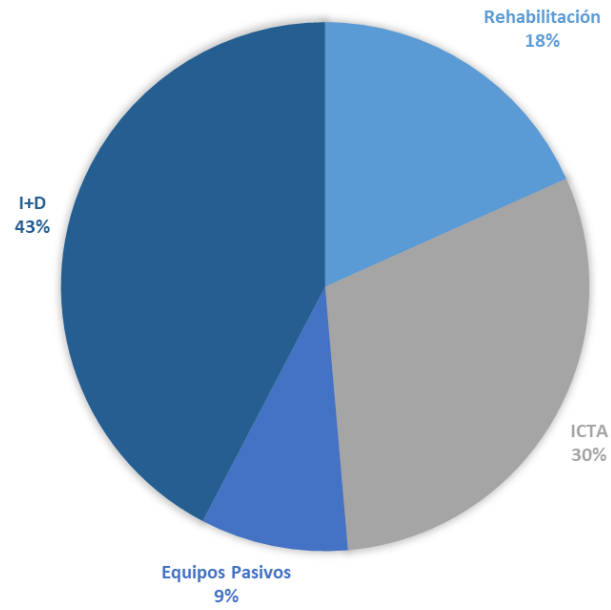
### 8.5 PRESUPUESTO TOTAL

En este apartado se obtiene el precio final de todo el presupuesto.

 <b>Presupuesto</b>	
Partidas Presupuestarias	Total
Rehabilitación	15,728.82 €
ICTA	26,040.03 €
Equipos Pasivos	7,771.79 €
I+D	36,364.77 €
Subtotal	<b>85,905.41 €</b>
IVA	<b>18,040.14 €</b>
<b>TOTAL</b>	<b>103,945.54 €</b>

**Figura 73. Presupuesto Total**

Como se puede ver en la Figura 73, la propuesta de rehabilitación y el estudio de viabilidad tiene un coste total de 85,905.41€ sin impuestos, de los cuales, y como se aprecia en la Figura 74, el 43% de éste equivale a la partida de I+D y esto se debe, sobre todo, a la laboriosa tarea que a conlleva el uso y comprensión del Type 460, seguidas de las horas de simulación y análisis de datos. Seguidamente, y con un 30% del porcentaje total, está la instalación del Intercambiador de Calor, como se verá en el ANEXO 3 PRESUPUESTO, se debe al coste del tubo. Por el contrario, la rehabilitación y los equipos pasivos son solo el 27% del presupuesto total, lo que refleja lo económico que es la rehabilitación de los edificios.



**Figura 74. Presupuesto Total. Parte porcentual**



## CAPÍTULO 9. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Comunidad ism, “Revisión Directiva Europea sobre Eficiencia Energética de Edificios.” [Online]. Available: <http://www.comunidadism.es/blogs/revision-directiva-europea-sobre-eficiencia-energetica-de-edificios>.
- [2] Consejo Superior de Colegios de Arquitectos de España, “Edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB): un gran reto del sector de la construcción en Europa.” [Online]. Available: <https://www.cscae.com/index.php/es/conoce-cscae>.
- [3] Comunidad ism, “Pobreza Energética en España 2018.” [Online]. Available: <http://www.comunidadism.es/herramientas/pobreza-energetica-en-espana-2018>.
- [4] Passive House Institute, “Estándar Passivhaus.” [Online]. Available: <https://passiv.de/>.
- [5] Thermal Energy System Specialists LLC, “TRNSYS.” [Online]. Available: <http://www.trnsys.com/>.
- [6] F. Ruiz-Calvo, “Análisis y modelado de una instalación geotérmica para climatización de un conjunto de oficinas,” 2015.
- [7] Comisión Europea, “Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios,” *Bol. Of.*, vol. L135, pp. 13–35, 2010.
- [8] Ministerio de la Presidencia y para las Administraciones Territoriales, “Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, por el que se modifica el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios,” *Boletín Of. del Estado*, no. 134, 6 de junio, pp. 45935–45937, 2017.
- [9] Ministerio de Fomento, “Código Técnico de la Edificación.” [Online]. Available: <https://www.codigotecnico.org/>.
- [10] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HE - Ahorro de Energía,” *Doc. Básico HE - Ahorr. Energía*, vol. 2017, pp. 1–129, 2007.
- [11] J. Crespo Ruíz de Gauna and J. Soto Alfonso, “Guía del estándar Passivhaus. Edificios de consumo energético casi nulo,” *Guía del estándar Passiv. Edif. Consum. energético casi nulo*, pp. 11–14, 2011.
- [12] Passive House Institute, “Criterios para los Estándares Casa Pasiva, EnerPHit y PHI Edificio de baja demanda energética,” pp. 1–27, 2015.
- [13] Ministerio de Fomento, “Propuesta de valores de indicadores para el DBHE 2018 (nZEB),” vol. 2018, 2018.
- [14] ISO, “ISO 52000-1,” *Energy Perform. Build. Part 1*, vol. 2017, 2017.
- [15] ISO and AENOR, “Ergonomía del ambiente térmico,” *AENOR*, p. 58, 2006.
- [16] E. y T. Ministerio de Industria, “Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios,” *Bol. Of. del estado*, no. 74, pp. 11816–11831, 2013.

- [17] Ministerio de Fomento, “Documento Básico HS - Salubridad,” *Doc. básico HS Salubr.*, p. 142, 2017.
- [18] S. A. Peñaloza Peña and J. E. Jaramillo Ibarra, “Viabilidad Técnica de un Sistema de Climatización Geotérmica Para Edificaciones Sostenibles En El Trópico.”
- [19] G. L. Trillo and V. R. Angullo, “Guía de la Energía Geotérmica,” *Univ. Politécnica Madrid*, p. 178, 2008.
- [20] Abouthaus, “Cómo Construir un Pozo Canadiense: Un Sistema de Climatización que Utiliza la Energía del Subsuelo.” [Online]. Available: <https://about-haus.com/como-construir-un-pozo-canadiense/>.
- [21] Portal de Energías Renovables, “Los pozos canadienses y provenzales, geotermia de baja potencia.” [Online]. Available: <http://www.sitiosolar.com/los-pozos-canadienses-y-provenzales-geotermia-de-baja-potencia/>.
- [22] SIBER ZONE SL, “POZO CANADIENSE PARA VENTILACIÓN Y CLIMATIZACIÓN,” *tectonica-online*. [Online]. Available: <http://www.tectonica-online.com/productos/2310/climatizacion-ventilacion-canadiense-pozo/#>.
- [23] T. S. Bisoniya, A. Kumar, and P. Baredar, “Parametric analysis of earth-air heat exchanger system based on CFD modelling,” *Int. J. Power Renew. Energy Syst.*, vol. 1, pp. 36–46, 2014.
- [24] V. Bansal, R. Misra, G. Das Agarwal, and J. Mathur, “Transient effect of soil thermal conductivity and duration of operation on performance of Earth Air Tunnel Heat Exchanger,” *Appl. Energy*, vol. 103, pp. 1–11, 2013.
- [25] A. Mathur, A. K. Surana, P. Verma, S. Mathur, G. D. Agrawal, and J. Mathur, “Investigation of soil thermal saturation and recovery under intermittent and continuous operation of EATHE,” *Energy Build.*, vol. 109, pp. 291–303, 2015.
- [26] G. Mihalakakou, “On estimating soil surface temperature profiles,” vol. 34, pp. 251–259, 2002.
- [27] D. Y. Goswami and K. M. Bisel, “Use of Underground Air Tunnels for Heating and Cooling Agricultural and Residential Buildings,” *Univ. Florida, Fact Sheet EES 78*, no. May, pp. 1–4, 1993.
- [28] N. Oudjehani, K. Abahri, A. Tahakourt, and R. Belarbi, “Evaluation of earth-air heat exchangers efficiency in hot and dry climates,” *Adv. Mater. Res.*, vol. 739, no. April 2017, pp. 318–324, 2013.
- [29] C. Peretti, A. Zarrella, M. De Carli, and R. Zecchin, “The design and environmental evaluation of earth-to-air heat exchangers (EAHE). A literature review,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 28, pp. 107–116, 2013.
- [30] G. Mihalakakou, M. Santamouris, and D. N. Assimakopoulos, “Use of the ground for heat dissipation,” *Energy*, vol. 19, no. 1, pp. 17–25, 1994.
- [31] S. F. Ahmed, M. T. O. Amanullah, M. M. K. Khan, M. G. Rasul, and N. M. S. Hassan, “Parametric study on thermal performance of horizontal earth pipe cooling system in summer,” *Energy Convers. Manag.*, vol. 114, pp. 324–327, 2016.
- [32] “Geocool.” [Online]. Available: <http://geo.cool/>.
- [33] Solar Energy Laboratory Univ. of Wisconsin Madison, TRANSSOLAR Energietechnik GmbH, CSTB – Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, and TESS – Thermal Energy System Specialists. LLC, “Volume 7 - TRNEdit: Editing the Input File and Creating TRNSED

- Application,” *TRNSYS 16 a TRaNsient Syst. Simul. Progr.*, vol. 7, 2007.
- [34] Solar Energy Laboratory, “TRNBuild, Trnsys 17,” *Univ. Wisconsin-Madison*, pp. 1–29, 2012.
- [35] P. Hollmuller, “TYPE 460: HYPOCAUST (AIR-TO-SOIL EXCHANGER).”
- [36] P. Hollmuller and B. Lachal, “Cooling and preheating with buried pipe systems: Monitoring, simulation and economic aspects,” *Energy Build.*, vol. 33, no. 5, pp. 509–518, 2001.
- [37] CAMILO ANDRÉS ARIAS HENAO, “POTENCIAL DE LOS INTERCAMBIADORES DE CALOR TIERRA-AIRE PARA ACONDICIONAMIENTO DE AIRE EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS.”
- [38] M. Khabbaz, B. Benhamou, K. Limam, P. Hollmuller, H. Hamdi, and A. Bennouna, “Experimental and numerical study of an earth-to-air heat exchanger for air cooling in a residential building in hot semi-arid climate,” *Energy Build.*, vol. 125, pp. 109–121, 2016.
- [39] Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales and Inarquia, “Síndrome del Edificio Enfermo (SEE).” [Online]. Available: <https://inarquia.es/sindrome-edificio-enfermo>.
- [40] E. Sarachu, “Sistemas de ventilación en viviendas; principales problemas.” [Online]. Available: <https://www.caloryfrio.com/aire-acondicionado/ventilacion/sistemas-de-ventilacion-en-viviendas-principales-problemas.html>.
- [41] J. L. Vazquez Otero, *Análisis de pérdidas energéticas por infiltración de aire - Apeia*. 2016.
- [42] Ministerio de Vivienda y Urbanismo and Gobierno de Chile, “Solución constructiva para la Hermeticidad al paso del Aire en el encuentro de artefactos Eléctricos con muros y tabiquería.” .
- [43] RecyCrafs, “Hacer Conexiones eléctricas en el Jardín.” [Online]. Available: <http://www.recycrafts.com/conexiones-electricas-sikaflex>.
- [44] BIZ GEL, “Gel de estanqueidad.” [Online]. Available: <http://www.bizline.es/biz-710-295-gel-de-estanqueidad-biz-gel-1-l>.
- [45] M. del Río Merino, “Ejecución de revestimientos con yeso,” pp. 1–59, 2002.
- [46] Blog de Felipe, “Reparando húmedades por capilaridad.” [Online]. Available: [http://bricolaje.facilísimo.com/reportajes/albanileria/reparando-humedades-por-capilaridad\\_183160.html](http://bricolaje.facilísimo.com/reportajes/albanileria/reparando-humedades-por-capilaridad_183160.html).
- [47] ENGINESA and J. Llovera Massana, “REHABILITACIÓN CON CONSUMO DE CALEFACCIÓN CASI CERO.” .
- [48] SAINT-GOBAIN, “CalumenLive.” [Online]. Available: <https://calumenlive.com/>.
- [49] C. Shofu, “Instrucciones de Uso,” *Ceramage*, vol. 304, no. Aisi 304, pp. 1–21, 2010.
- [50] renovarte, *Guía técnica de rehabilitación de edificios*. .
- [51] J. Manzanero, “gmgarquitectos.” [Online]. Available: <http://gmgarquitectos.com/>.
- [52] L. F. Osorio Varón, “Calificación energética de un edificio existente de usos múltiples ubicado en valencia,” *UMH*, p. 375.
- [53] fchart, “Engineering Equation Solver (EES).”
- [54] G. Mihalakakou, “On the heating potential of a single buried pipe using deterministic and intelligent techniques,” *Renew. Energy*, vol. 28, no. 6, pp. 917–927, 2003.
- [55] X. Masip Sanchis, “ENERGY OPTIMIZATION AND TECHNO-ECONOMIC ASSESSMENT OF AN AIR SOURCE HEAT PUMP FOR,” 2018.

- [56] C. Montagud, J. M. Corberán, and Á. Montero, "In situ optimization methodology for the water circulation pumps frequency of ground source heat pump systems," *Energy Build.*, vol. 68, pp. 42–53, 2014.
- [57] "Geothermal Technology for Economic Cooling and Heating, GEOT€CH." [Online]. Available: <http://www.geotech-project.eu/>.
- [58] "GeoCool project (EU 5th Framework Programme, NNE5-2001-00847)."
- [59] IVACE, "Programa de Energías Renovables y Biocarburantes 2018," 2018. [Online]. Available: [http://www.ivace.es/index.php?option=com\\_content&view=article&id=6683:programa-de-energias-renovables-y-biocarburantes-2018&catid=407:ayudas-2018-ahorro-y-eficiencia-energetica-y-energias-renovables&lang=es&Itemid=100456](http://www.ivace.es/index.php?option=com_content&view=article&id=6683:programa-de-energias-renovables-y-biocarburantes-2018&catid=407:ayudas-2018-ahorro-y-eficiencia-energetica-y-energias-renovables&lang=es&Itemid=100456).
- [60] Boletín Oficial del País Vasco, "Otras disposiciones," vol. 3530, pp. 1–24, 2018.
- [61] Ayuntamiento de Madrid, "Ayuda PAREER II," 2018. [Online]. Available: <https://www.emvs.es/Proyectos/Rehabilitacion/Paginas/otras.aspx>.
- [62] CYPE Ingenieros, "Generador de Precios," 2018. [Online]. Available: <http://www.generadordeprecios.info/login.html>.
- [63] Sodeca, "QuickFan Selector." .
- [64] Casals, "ARUMAK 800 BP CTRL-DPH." [Online]. Available: <https://www.casals.com/es>.
- [65] UPV, "RECOMENDACIONES EN LA ELABORACIÓN DE PRESUPUESTOS EN ACTIVIDADES DE I+D+i."

# CAPÍTULO 10. ANEXOS

## ANEXO 1 ESTANQUEIDAD

### ANEXO 1.1. Densidad Fuentes internas

Para el cálculo de cada una de las cargas, se han tenido en cuenta los valores del apéndice A, tabla A.8 del trabajo de Calvo Ruiz [6], de ésta misma se obtuvieron también los horarios y porcentajes de uso.

Zona	Personas	Superficie [m <sup>2</sup> ]	Personas [W]	Ordenadores [W]	Iluminación [W]
D1	2.025	20.25	150	230	263.25
D2	1.35	13.5	150	230	175.5
D3	2.025	20.25	150	230	263.25
D4	2.025	20.25	150	230	263.25
D5	1.35	13.5	300	460	175.5
D6	1.35	13.5	150	230	175.5
D7	1.35	13.5	150	230	175.5
D8	1.35	13.5	150	230	175.5
D9	2.025	20.25	150	230	263.25
S1	NP	36	750	1150	468
S2	NP	13.5	0	690	175.5
Pasillo	NP	51.6	0	0	670.8
	<b>Σ</b>	<b>249.6</b>	<b>2250</b>	<b>4140</b>	<b>3244.8</b>

Tabla 43. Densidades Fuentes Internas. [6]

	Lunes a Viernes						Fines de Semana	
	horas	%	horas	%	horas	%	horas	%
Ocupación	6	1	2	0.5	7	0.3	0	0
Iluminación	7	1	2	0.5	6	0.2	0	0
Equipos	6	1	2	0.5	7	0.3	0	0

Tabla 44. Horarios y porcentajes de uso. [6]

ANEXO 1.2. Porcentaje y Orientación de los Acristalamientos

Estas tablas derivan de la información proporcionada por la tabla A.1. [6]

Zona	Orientación	Marco	Ventana	Ventanas [m <sup>2</sup> ]	Fachada [m <sup>2</sup> ]
D1	N	13%	87%	4.392	9.0
	E	13%	87%	8.784	18.0
D2	E	13%	87%	2.928	9.0
D3	E	13%	87%	5.856	13.5
D4	E	13%	87%	5.856	13.4
D5	E	13%	87%	4.392	9.0
D6	E	13%	87%	4.392	9.0
D7	E	13%	87%	2.098	9.0
D8	E	13%	87%	2.098	9.0
D9	S	13%	87%	4.195	18.0
	E	13%	87%	2.098	9.0
<b>Total</b>				<b>47.089</b>	<b>125.9</b>

Tabla 45. Porcentaje y Orientación cada zona

	N	E	S
<b>Huecos</b>	48.8%	38.9%	23.3%
<b>Orientación</b>	7.1%	78.6%	7.1%

Tabla 46. Porcentajes y Orientaciones Totales

ANEXO 1.3. Cálculo del factor solar (g)

Con el  $F_{Hlim}$  seleccionado en la Figura 53 y la Ecuación 6 proporcionada por el Documento de Apoyo (DA) para el *Cálculo de parámetros característicos de la envolvente*, se obtendrá el Factor Solar (g).

$$F = F_S \cdot [(1 - FM) \cdot g + FM \cdot 0.04 \cdot U_m \cdot \alpha]$$

Ecuación 6. Factor solar modificado. Apartado 2.2 DA

Esta ecuación depende de los factores de sombra del hueco y de la transmitancia del marco. Por ello se deben tener en cuenta los acristalamientos y los obstáculos que estos puedan tener, en la Figura 75 se observa que los marcos son de color rojo claro y que tienen lamas con una inclinación, aproximada, de 30°.



Figura 75. Ejemplo acristalamiento Edificio

En función de estas características se obtienen: la absorptividad del marco, Figura 76, y el factor de sombra, Figura 77.

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

Figura 76. Factor de sombra: lamas. Tabla 14 DA

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Figura 77. Absortividad marco. Tabla 11 DA

Despejando el Factor solar,  $g$ , de la Ecuación 6, se obtiene que “ $g$ ” no debe ser mayor de: 0.87.

**ANEXO 2 INTERCAMBIADOR ENTERRADO**

## ANEXO 2.1. Control Intercambiador

Una consecuencia que tiene el intercambiador en ciudades como Valencia, es que las condiciones a la salida de éste peores que las del aire ambiente. Por esta razón se ha decidido incorporar un control al intercambiador, normalmente son controles de temperaturas o entálpicos, así que se realizaron dos simulaciones: una con un control de temperaturas y la otra con un control de entalpías.

	<b>Demanda Calefacción</b>	<b>Demanda Refrigeración</b>	<b>Calefacción</b>	<b>Refrigeración</b>
<b>ICTA</b>	5022 kWh	6647 kWh	-3.22%	-4.20%
<b>ICTA Cont(T)</b>	4918 kWh	6612 kWh	-5.22%	-4.70%
<b>ICTA Cont(h)</b>	4918 kWh	6613 kWh	-5.22%	-4.70%

**Tabla 47. Demanda Térmica. Control**

Como se puede ver en la Tabla 47, la integración de cualquiera de los dos controles reduce la demanda de calefacción en un 5% y la de refrigeración en un 4%. Al obtener los mismos valores para los dos tipos de control, se propone que el control sea por medio de las temperaturas y no de las entalpías, esto se debe a que el control de temperaturas es un método más común, práctico y económico.

## ANEXO 2.2. Estudio Paramétrico

Como se expuso en el apartado 6.2.2. Estudio de Sensibilidad para una correcta elección en el diseño del Intercambiador de Calor Tierra-Aire, se realizará un estudio paramétrico con los siguientes tres parámetros: diámetro, número de tubos y longitud de cada tubo.

<b>Z [m]</b>	<b>∅ [mm]</b>	<b>nº tub</b>	<b><math>\dot{m}_{vent}/\dot{m}_{RITE}</math> [ren/h]</b>	<b>L<sub>tubo</sub> [m]</b>
3	160	1	1 (INV) 2 (VER)	10
	<b>200</b>	<b>2</b>		<b>20</b>
	250	3		30

**Tabla 48. Parámetros Estudio Paramétrico**

A modo de resumen en la Tabla 48, se reflejan los valores que tendrán finalmente el presente estudio y también como la profundidad y el ratio de ventilación tendrán valores fijos, su fijación se explicó también dicho apartado.

Para una mejor comprensión de los valores, en la Tabla 16 se vio que la rehabilitación y la instalación de un Intercambiador de Calor Tierra-Aire tenía una reducción del 49% y del 13% en la calefacción y refrigeración, respectivamente, influyendo directamente en los kWh·año/m<sup>2</sup> del edificio. La elección del diseño final se determinará con el valor mínimo en los kWh·año/m<sup>2</sup> de calefacción y refrigeración.

En las siguientes dos tablas, de manera más visual, se aprecia cuál es la mejor opción para la calefacción y la refrigeración.



CALEFACCIÓN [kWh/m <sup>2</sup> ·a]				
Øtubo [mm <sup>2</sup> ]	Nº tubos	Ltubo=10	Ltubo=20	Ltubo=30
160	1	20	20	20
	2	20	20	19
	3	20	19	19
200	1	20	20	20
	2	20	20	19
	3	20	19	19
250	1	20	20	20
	2	20	20	19
	3	20	19	19

**Tabla 49. Estudio Paramétrico. Calefacción**

REFRIGERACIÓN [kWh/m <sup>2</sup> ·a]				
Øtubo [mm <sup>2</sup> ]	Nº tubos	Ltubo=10	Ltubo=20	Ltubo=30
160	1	26	25	25
	2	26	25	24
	3	25	24	23
200	1	26	25	24
	2	26	24	23
	3	25	24	23
250	1	26	25	24
	2	25	24	23
	3	25	24	23

**Tabla 50. Estudio Paramétrico. Refrigeración**

En la Tabla 49 y Tabla 50 se observa que las mejores soluciones para las dos demandas térmicas son las que tengan tubos de 30 metros y de dependiendo del diámetro, si es para 160mm o 200mm serán 3 tubos, si es para 250mm pueden ser dos o tres tubos. Con lo que la mejor configuración será aquella que dé el menor valor en la suma de la calefacción y refrigeración, tal como se ve en la Tabla 51. Con respecto a las otras dos tablas, esta última se visualizan mucho mejor los resultados de las simulaciones, destacando sobre ellas el diseño que da la combinación del diámetro de 250mm con tres tubos y una longitud de 30 metros de largo, siendo ésta la elección para el diseño final.

TOTAL [kWh/m <sup>2</sup> ·a]				
Øtubo [mm <sup>2</sup> ]	Nº tubos	Ltubo=10	Ltubo=20	Ltubo=30
160	1	47	45	45
	2	46	44	43
	3	45	44	42
200	1	46	45	44
	2	46	44	43
	3	45	43	42
250	1	46	45	44
	2	46	44	42
	3	45	43	41

**Tabla 51. Estudio Paramétrico. Demanda Conjunta**

#### ANEXO 2.3. Demanda Edificio de Referencia

En la nota de al pie 7, se hizo referencia a cómo está construido éste, en este caso TRNSYS contiene todas las características generales del edificio, como son: horarios, zonificación interior, uso de los espacio, etc. pero no a los parámetros de transmitancia o factor solar que vienen determinados por el Apéndice D del DB-HE para el cálculo del edificio de referencia, parámetros y valores que ya se utilizaron en apartados anteriores, así que se eligen correctamente los valores de cada parámetro, que vienen determinados por su Zona Climática y la carga interna del edificio, se introduce en los tres edificios que se tienen en TRNSYS y las demandas del edificio de referencia para el edificio de Termodinámica Aplicada, dependiendo de en qué ciudad se encuentre, son las que se ven en la Tabla 52.

	Calefacción [kWh]	Refrigeración [kWh]	Total [kWh]
Valencia	10353	7718	18071
Madrid	16832	5878	22710
Bilbao	13257	3245	16502

**Tabla 52. Demandas Térmicas. Edificios de Referencia CTE**

Al comparar estas demandas con las expuestas en la Tabla 27, se refleja que las del edificio de referencia son muy superiores. Además, estos edificios de referencia, y siguiendo con lo que obliga el apartado 2.2.1.1.2. del DB-HE1, deben tener unas renovaciones horas de 0.8, que son unas renovaciones un 30% inferiores a las que obliga el RITE.

**ANEXO 3 PRESUPUESTO**



# PRESUPUESTO

Código	Unidad	Descripción	Cant.	Costo unidad	Total
<b>Partida Rehabilitación</b>					
<b>NAS002</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Sistema ETICS de aislamiento térmico por el exterior de fachadas.</b>	<b>126</b>	<b>70.00</b>	<b>8,820.00 €</b>
<p>Aislamiento térmico por el exterior de fachadas, con sistema ETICS, compuesto por: panel rígido de poliestireno expandido, según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, fijado al soporte con mortero, aplicado manualmente y fijaciones mecánicas con taco de expansión de polipropileno capa de regularización de mortero, aplicado mecánicamente, armado con malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor y de 160 g/m<sup>2</sup> de masa superficial; capa de acabado de mortero acrílico color blanco, sobre imprimación acrílica. El precio incluye la ejecución de remates en los encuentros con paramentos, revestimientos u otros elementos recibidos en su superficie.</p>					
Código	Unidad	Descripción	Rendimiento	Precio unitario	Importe
1 <b>Materiales</b>					
mt28mop080g	m	Perfil de arranque de aluminio, de 70 mm de anchura, con goterón, para nivelación y soporte de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior sobre la línea de zócalo.	0.200	4.750	0.950
mt28mop085g	m	Perfil de cierre superior, de aluminio, de 70 mm de anchura, para coronación de los paneles aislantes de los sistemas de aislamiento térmico por el exterior.	0.200	16.490	3.298
mt28mop030g	kg	Mortero compuesto de cemento blanco, cal aérea, áridos ligeros, áridos calizos seleccionados, fibras naturales, aditivos y resinas en polvo, impermeable al agua de lluvia, permeable al vapor de agua y con resistencia al envejecimiento, para aplicar con llana, para adherir los paneles aislantes y como capa base, previo amasado con agua.	5.400	1.010	5.450
mt16pep010ae	m <sup>2</sup>	Panel rígido de poliestireno expandido, según UNE-EN 13163, de superficie lisa y mecanizado lateral recto, de color blanco, de 70 mm de espesor, con resistencia al envejecimiento y permeable al vapor de agua, resistencia térmica 1,84 m <sup>2</sup> K/W, conductividad térmica 0,038 W/(mK), Euroclase E de reacción al fuego.	1.050	11.880	12.470
mt16pep100c	Ud	Taco de expansión de polipropileno de 120 mm de longitud, para fijación de placas aislantes.	8.000	0.220	1.760
mt28mop030h	kg	Mortero compuesto de cemento blanco, cal aérea, áridos ligeros, áridos calizos seleccionados, fibras naturales, aditivos y resinas en polvo, impermeable al agua de lluvia, permeable al vapor de agua y con resistencia al envejecimiento, para aplicar mediante proyección mecánica, para adherir los paneles aislantes y como capa base, previo amasado con agua.	5.400	1.010	5.450

## Trabajo Fin del Máster Universitario en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible

mt28mop050a	m <sup>2</sup>	Malla de fibra de vidrio, antiálcalis, de 5x4 mm de luz de malla, de 0,6 mm de espesor, de 160 g/m <sup>2</sup> de masa superficial y de 1x50 m, para armar morteros.	1.100	1.550	1.710
mt28mop070b	m	Perfil de esquina de PVC con malla, para refuerzo de cantos.	0.300	1.230	0.370
mt28mop075g	m	Perfil de cierre lateral, de aluminio, de 70 mm de anchura.	0.300	7.040	2.110
mt28mop320a	kg	Imprimación acrílica compuesta por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, impermeable al agua de lluvia y permeable al vapor de agua, para aplicar con brocha, rodillo o pistola, para regularizar la absorción e incrementar la adherencia de morteros acrílicos.	0.200	3.690	0.740
mt28mop310ma	kg	Mortero acrílico color blanco, compuesto por resinas acrílicas, pigmentos minerales y aditivos orgánicos e inorgánicos, antimoho y antiverdín, permeable al vapor de agua y con resistencia al envejecimiento, a la contaminación urbana y a los rayos UV, para revestimiento de paramentos exteriores.	2.000	3.720	7.440
mt15bas010a	m	Cordón de polietileno expandido de celdas cerradas, de sección circular de 6 mm de diámetro, para el relleno de fondo de junta.	1.000	0.060	0.060
mt15bas035a	Ud	Cartucho de masilla elastómera tixotrópica, monocomponente, a base de polímeros híbridos (MS), de color gris, de 600 ml, de alta adherencia, con elevadas propiedades elásticas, resistencia al envejecimiento y a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 25 y alargamiento en rotura > 600%, según UNE-EN ISO 11600.	0.030	8.240	0.247
			Subtotal materiales:		<b>42.06</b>
2	Equipo y maquinaria				
mq06pym010	h	Mezcladora-bombearora para morteros y yesos proyectados, de 3 m <sup>3</sup> /h.	0.220	7.950	1.749
			Subtotal equipo y maquinaria:		<b>1.75</b>
3	Mano de obra				
mo054	h	Oficial 1 <sup>a</sup> montador de aislamientos.	0.150	18.130	2.720
mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.	0.150	16.430	2.465
mo039	h	Oficial 1 <sup>a</sup> revocador.	0.606	17.540	10.630
mo079	h	Ayudante revocador.	0.606	16.430	9.960
			Subtotal mano de obra:		<b>25.77</b>
<b>ZBV03</b>	<b>m<sup>2</sup></b>	<b>Sustitución de vidrios de la carpintería por acristalamiento con cámara "SAINT GOBAIN"</b>	<b>48</b>	<b>90.26</b>	<b>4,332.48 €</b>
Rehabilitación energética de cerramientos de huecos de fachada, mediante el desmontaje de luna de vidrio simple de 4 mm de espesor, sin deteriorar la carpintería a la que se sujeta, con medios manuales y carga manual del material desmontado sobre camión o contenedor, y sustitución por doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS PLANITHERM XN F2 6/16 argón 90%/4 "SAINT GOBAIN", de 26 mm de espesor total, con calzos y sellado continuo por el exterior y perfil continuo por el interior.					
1	Materiales				
mt21dsg011Ha	m <sup>2</sup>	Doble acristalamiento SGG CLIMALIT PLUS "SAINT GOBAIN", conjunto formado por vidrio exterior PLANITHERM XN de 6 mm, con capa de baja emisividad térmica incorporada en la cara interior, cámara de gas deshidratada con perfil separador de aluminio y doble sellado perimetral, de 16 mm, rellena de gas argón y vidrio interior PLANICLEAR de 4 mm de espesor; 26 mm de espesor total.	1.006	67.76	68.17

## Trabajo Fin del Máster Universitario en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible

mt21sik010	Ud	Cartucho de 310 ml de silicona sintética incolora Elastosil WS-305-N "SIKA" (rendimiento aproximado de 12 m por cartucho).	0.29	2.47	0.72
mt21vva025	m	Perfil continuo de neopreno para la colocación del vidrio.	1.667	0.9	1.5
mt21vva021	Ud	Material auxiliar para la colocación de vidrios.	1	1.26	1.26
			Subtotal materiales:		<b>71.65</b>
2		Mano de obra			
mo055	h	Oficial 1ª cristalero.	0.459	18.94	8.69
mo110	h	Ayudante cristalero.	0.459	17.75	8.15
			Subtotal mano de obra:		<b>16.84</b>
3		Costes directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2	88.49	1.77
<b>NEI020</b>	<b>Ud</b>	<b>Sellado estanco de paso de tubos con pieza prefabricada</b>	<b>100</b>	<b>4.61</b>	<b>461.00 €</b>
Sellado estanco con pieza autoadhesiva, para un tubo de 15 a 22 mm de diámetro, Homeseal LDS Manguito 15-22 mm "KNAUF INSULATION", de papel kraft y caucho sintético EPDM, de 15x15 cm, en paramento de madera.					
1		Materiales			
mt15ski010c	Ud	Pieza para la resolución del paso de instalaciones, autoadhesiva, para un tubo de 15 a 22 mm de diámetro, Homeseal LDS Manguito 15-22 mm "KNAUF INSULATION", de papel kraft y caucho sintético EPDM, de 15x15 cm, para aplicar en interiores.	1	4.34	4.34
			Subtotal materiales:		<b>4.34</b>
2		Mano de Obra			
mo101	h	Ayudante montador de aislamientos.	0.011	16.43	0.18
			Subtotal mano de obra:		<b>0.18</b>
3		Coste directos complementarios			
	%	Coste directos complementarios	2.000	4.520	0.090
<b>ZBM010.1</b>	<b>m</b>	<b>Sistema de estanqueidad y aislamiento entre suelo y obra</b>	<b>2</b>	<b>2.94</b>	<b>5.88 €</b>
Rehabilitación energética de edificio mediante la incorporación de sistema de estanqueidad y aislamiento entre suelo y obra, compuesto por imprimación transparente a base de poliuretano.					
1		Materiales			
mt22www070a	l	Imprimación transparente a base de poliuretano, para selladores acrílicos sobre superficies porosas.	0.002	23.2	0.05
mt22www050a	Ud	Cartucho de 300 ml de silicona neutra oxímica, de elasticidad permanente y curado rápido, color blanco, rango de temperatura de trabajo de -60 a 150°C, con resistencia a los rayos UV, dureza Shore A aproximada de 22, según UNE-EN ISO 868 y elongación a rotura >= 800%, según UNE-EN ISO 8339.	0.01	4.73	0.05
			Subtotal materiales:		<b>0.10</b>
2		Mano de Obra			
mo113	h	Peón ordinario construcción.	0.172	16.16	2.78
			Subtotal mano de obra:		<b>2.78</b>
3		Coste directos complementarios			
	%	Costes directos complementarios	2.000	2.88	0.06
<b>ZBM010.2</b>	<b>Ud</b>	<b>Sistema de sellado de las derivaciones individuales con GEL</b>	<b>50</b>	<b>10.52</b>	<b>526.00 €</b>

## Trabajo Fin del Máster Universitario en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible

Rehabilitación energética de edificio mediante el sellado de las derivaciones individuales eléctricas con GEL

1		Materiales				
mt22www040.GEL		Gel de estanqueidad BIZ'GEL 1 l. Rigidez dieléctrica (kV/mm): > 20. Resistencia en volumen ( $\Omega$ /cm): > 2. 1015.Tensión (kV): de 0.6 a 1. Temperatura de instalación (°C): +0 a +40. Temperatura de servicio post-polimerización (°C): -40 a +200. Reticulación en función de la temperatura: $\approx$ 15 min a 20 °C. $\approx$ 45 min a 10 °C. $\approx$ 190 min a 0 °C.Grado de protection : IP68.	Ud	0.13	57.9	7.53
				Subtotal materiales:		<b>7.53</b>
2		Mano de Obra				
mo113	h	Peón ordinario construcción.		0.172	16.16	2.78
				Subtotal mano de obra:		<b>2.78</b>
3		Coste directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios		2.000	10.31	0.21
<b>XFB010</b>	<b>Ud</b>	<b>Ensayo Blower Door</b>	<b>3</b>	<b>527.82</b>		<b>1,583.46 €</b>

Ensayo Blower Door, para medir el volumen de infiltraciones de aire, en vivienda de edificio plurifamiliar de entre 150 y 200 m<sup>2</sup> de superficie útil, durante la ejecución de la obra, una vez cerrada la envolvente.

1		Materiales				
mt49reh010haa		Ensayo Blower Door, para medir el volumen de infiltraciones de aire, en vivienda de edificio plurifamiliar de entre 150 y 200 m <sup>2</sup> de superficie útil, durante la ejecución de la obra, una vez cerrada la envolvente, método B según UNE-EN 13829.	Ud	1.000	517.50	517.50
				Subtotal materiales:		<b>517.50</b>
2		Coste directos complementarios				
	%	Costes directos complementarios		2.000	517.5	10.35

**Total Partida Rehabilitación** **15,728.82 €**

### Partida Intercambiador

<b>ISB04</b>	<b>ml</b>	<b>Tubería para ventilación primaria</b>	<b>132</b>	<b>124.74</b>		<b>16,465.68 €</b>
--------------	-----------	--	------------	---------------	--	--------------------

Tubería para ventilación primaria de la red de evacuación de aguas, formada por tubo de PVC, serie B, de 250 mm de diámetro, unión con junta elástica.

1		Materiales				
mt36tiq051h		Material auxiliar para montaje y sujeción a la obra de las tuberías de PVC, insonorizado, de 250 mm de diámetro y 5 m de longitud nominal.	Ud	1.000	3.9	3.9
mt36tiq050hh		Tubo de PVC, serie B, según UNE-EN 1453-1, insonorizado y resistente al fuego (resistencia al fuego B-s1, d0 según UNE-EN 13501-1), de 250 mm de diámetro y 4,9 mm de espesor, 5 m de longitud nominal, con embocadura, unión a presión con junta elástica, con el precio incrementado el 35% en concepto de accesorios y piezas especiales.	m	1.000	108.92	108.92
				Subtotal materiales:		<b>112.82</b>
2		Mano de Obra				
mo008	h	Oficial 1ª fontanero.		0.316	18.13	5.73
mo107	h	Ayudante fontanero.		0.228	16.4	3.74
				Subtotal mano de obra:		<b>9.47</b>

Trabajo Fin del Máster Universitario en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible

	3	%	Coste directos complementarios			2.000	122.29	2.45
		%	Costes directos complementarios					
<b>1037737</b>	<b>Ud</b>		<b>Ventilador helicoidal. Modelo HEP/EW-25-4/H-B-T-D</b>	<b>3</b>		<b>876.35</b>		<b>2,629.05 €</b>
Ventiladores SODECA helicoidales murales de alta eficiencia, equipados con motor E.C. Techology. Hélice de plástico reforzada en fibra de vidrio. Con variador electrónico de velocidad. Potencia eléctrica máxima 140 W. Caudal máximo 265/1250 m³/h. Nivel presión sonora Lp dB(A) min/máx.: 18/52								
	1	Ud	Materiales					
1037737			Ventilador SODECA			1.000	876.35	876.35
							Subtotal materiales:	<b>876.35</b>
<b>ADE010</b>	<b>m³</b>		<b>Excavación de zanjas y pozos</b>	<b>270</b>		<b>20.23</b>		<b>5,462.10 €</b>
Excavación de zanjas para instalaciones hasta una profundidad de 2 m, en cualquier tipo de terreno, con medios mecánicos, y carga a camión. El precio no incluye el transporte de los materiales excavados.								
	1	h	Materiales					
mq01exn020b			Retroexcavadora hidráulica sobre neumáticos, de 115 kW.			0.332	48.42	16.08
							Subtotal materiales:	<b>16.08</b>
	2	h	Mano de Obra					
mo113			Peón ordinario construcción.			0.232	16.16	3.75
							Subtotal mano de obra:	<b>3.75</b>
	3	%	Coste directos complementarios					
		%	Costes directos complementarios			2	19.83	0.4
<b>ADR010</b>	<b>m³</b>		<b>Relleno de zanjas para instalaciones</b>	<b>240</b>		<b>6.18</b>		<b>1,483.20 €</b>
Relleno de zanjas para instalaciones, con tierra seleccionada procedente de la propia excavación y compactación en tongadas sucesivas de 20 cm de espesor máximo con bandeja vibrante de guiado manual, hasta alcanzar una densidad seca no inferior al 95% de la máxima obtenida en el ensayo Proctor Modificado, realizado según UNE 103501. Incluso cinta o distintivo indicador de la instalación. El precio no incluye la realización del ensayo Proctor Modificado.								
	1	m	Materiales					
mt01var010			Cinta plastificada.			0.700	0.14	0.10
							Subtotal materiales:	<b>0.10</b>
	2	h	Equipo y maquinaria					
mq04dua020b			Dumper de descarga frontal de 2 t de carga útil.			0.100	9.25	0.93
mq02rod010d			Bandeja vibrante de guiado manual, de 300 kg, anchura de trabajo 70 cm, reversible.			0.150	6.38	0.96
mq02cia020j			Camión cisterna de 8 m³ de capacidad.			0.010	40.02	0.40
mq04cab010c			Camión basculante de 12 t de carga, de 162 kW.			0.015	40.09	0.60
							Subtotal equipo y maquinaria:	<b>2.89</b>
	3	h	Mano de obra					
mo113			Peón ordinario construcción.			0.190	16.16	3.07
							Subtotal mano de obra:	<b>3.07</b>
	4	%	Costes directos complementarios					
		%	Costes directos complementarios			2.000	6.06	0.12
<b>Total Partida Intercambiador</b>								<b>26,040.03 €</b>
<b>Partida Equipos Pasivos</b>								



Trabajo Fin del Máster Universitario en Tecnología Energética para Desarrollo Sostenible

	<b>Ud</b>	<b>Equipos Pasivos</b>	<b>1</b>	<b>7771.79</b>	<b>7,771.79 €</b>
		Materiales			
RC	1	Ud	Recuperador de Calor Casals modelo ARUMAK 800 BP CTRL-DPH	1.000	5978.30
					5978.30
	2		Coste directos complementarios		
		%	Coste directos complementarios	0.3	5978.3
					<b>1793.49</b>
					<b>7,771.79 €</b>
<b>Partida I+D</b>					
	<b>Ud</b>	<b>Personal Profesional</b>	<b>1</b>	<b>35413.99</b>	<b>34,413.99 €</b>
MP-PR	h	Responsable del Trabajo	15.000	51.800	777.000
MP-RE	h	Investigador Experto	45.000	23.400	1053.000
MP-J	Ud	Investigador Junior	1.000	32583.990	32583.990
	<b>Ud</b>	<b>Material Ofimático</b>	<b>1</b>	<b>1937.07</b>	<b>1,937.07 €</b>
		Ordenador HP Intel® Core™ i5-7400 CPU 2.33 GHz 8 Gb RAM. El ordenador se ha utilizado durante 11 meses por lo que la amortización es de 6 años [63]. El ordenador tuvo un coste de 585€ y su porcentaje de uso es de un 100%	0.917	97.500	89.37
IM-C	Ud				
IM-EES	Ud	Software. EES-Professional Versión	0.100	1200.000	120.00
IM-OFF	Ud	Software. Microsoft Office 2016	0.300	279.000	83.70
IM-T17	Ud	Software. TRNSYS con complementos	0.600	2740.000	1644.00
	<b>Ud</b>	<b>Material de Oficina</b>	<b>1</b>	<b>13.70</b>	<b>13.70 €</b>
FM-P	Ud	Encuadernación e impresión del Trabajo Final de Máster	1.000	13.700	13.700
<b>Total Partida Intercambiador</b>					<b>36,364.76 €</b>
				Subtotal	<b>85,905.40 €</b>
				IVA	<b>18,040.13 €</b>
				<b>TOTAL</b>	<b>103,945.54 €</b>