

Proyecto Fin de Master
Master en Ingeniería Industrial

Caracterización técnica-económica simplificada y
potencial de aplicabilidad de un paquete de medidas
de mejora para edificios

Autor: Gema García-Galera Rodriguez

Tutor: Jose Sánchez Ramos

Departamento de Ingeniería Energética
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021



Proyecto Fin de Máster
Máster en Ingeniería Industrial

Caracterización técnica-económica simplificada y potencial de aplicabilidad de un paquete de medidas de mejora para edificios

Autor:

Gema Garcia - Galera Rodriguez

Tutor:

José Sánchez Ramos

Profesor titular

Departamento de Ingeniería Energética

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2021

Este proyecto tiene como objetivo el estudio de una serie de mejoras que reduzcan el consumo energético de los edificios.

La importancia de este estudio radica en que la directiva 2010/31/UE de 19 de mayo 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (DEEE) persigue una reducción de la energía que estos consumen, establece directrices que promueven la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo ECCN, así como las mejores prácticas para garantizar que, antes de que finalice la presente década, todo el parque inmobiliario de nueva construcción esté formado por edificaciones cuyo consumo de energía sea prácticamente inexistente.

Los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO₂ en la UE, lo que los convierte en el mayor consumidor de energía de Europa.

Mayoritariamente, la energía consumida proviene de los sistemas de calefacción y refrigeración, de la iluminación, del calentamiento del agua para uso doméstico y de los sistemas de ventilación.

Cuanta menos cantidad de energía necesite para satisfacer la demanda, más eficiente será el edificio. Por lo tanto, es de suma importancia comenzar a poner en cuestión los sistemas de climatización y refrigeración convencionales y pensar en sistemas de ventilación eficientes y sostenibles que garanticen el confort térmico sin poner en riesgo ni el medio ambiente ni la salud de las personas.

Es por estas razones, que este trabajo de fin de master tiene como objetivo el realizar un estudio de las mejoras asociadas a las instalaciones de calefacción y refrigeración.

En primer lugar, se va a realizar una recopilación con el estado del arte de los actuales sistemas de ventilación. Se va a analizar las distintas configuraciones de ventilación mecánica controlada, simple flujo y doble flujo con recuperador de calor y freecooling.

Como uno de los elementos más importantes y más costosos de una instalación de ventilación, se va a realizar un estudio más exhaustivo del recuperador de calor. En este estudio vamos a obtener unas ecuaciones lineales que nos permitan realizar una estimación del coste del recuperador en función del caudal de aire que necesitemos para ventilar.

Una vez obtenidas estas curvas, se va a realizar el análisis de 6 modelos de viviendas unifamiliares, y se va a calcular el coste total de la instalación.

Para cada una de ellas, se va a analizar el coste de una instalación de extracción simple y el coste de una de doble flujo con recuperador de calor. Para estas últimas, el diseño de la instalación se va a realizar mediante conductos rígidos con una distribución en árbol y mediante conductos flexibles con una distribución en estrella.

Una vez obtenidos estos valores, podemos estimar cual es el peso en coste del recuperador en porcentaje en una instalación de doble flujo, de esta forma a su vez, podemos estimar de forma aproximada el coste total de la instalación a partir del recuperador de calor.

Para poder analizar de forma real el impacto de las mejoras planteadas, se va a realizar una simulación de cuatro edificios en cinco zonas climáticas mediante el programa de cálculo de cargas HULC. Con las cargas obtenidas para cada hora del año, se van a montar una serie de hojas de cálculo que nos permitan estudiar el impacto de las mejoras planteadas y el porcentaje en que se reduce la carga tras su aplicación respecto al caso base.

Las mejoras que se van a analizar para cada edificio son las siguientes:

- Extracción simple (caso base)
- Extracción simple + control de presencia
- Doble flujo con recuperador de calor
- Doble flujo con recuperador de calor + control de presencia
- Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) 12h
- Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) 24h
- Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) + control de presencia

Con los resultados obtenidos en los apartados anteriores, se llega a la conclusión de la importancia que tiene la elección de un buen sistema de ventilación debido al alto peso que presentan las cargas de ventilación en relación a las cargas totales que genera un edificio.

Con las medidas planteadas somos capaces de disminuir la carga de calefacción en edificios plurifamiliares, partiendo del caso base en el que la carga de ventilación supone un 45% de la carga total del edificio hasta un 5% mediante el uso de recuperadores de calor y control de presencia, en cuanto a la refrigeración, prácticamente queda anulada.

En viviendas unifamiliares, solo con el uso de un recuperador de calor, eliminamos las cargas de forma casi completa.

ÍNDICE

Resumen	5
Índice	7
Índice de Ilustraciones	9
Índice de Tablas	10
Índice de Gráficas	12
1 INTRODUCCIÓN	13
1.1. <i>Panorama energético actual y marco normativo europeo</i>	13
1.1.1 Edificio de consume casi nulo	14
1.2. <i>Necesidad de una nueva metodología de certificación energética unificada</i>	15
2 INTRODUCCIÓN A LA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA (VMC)	17
3 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA	19
3.1. <i>Planificación del proyecto y arquitectura</i>	19
3.2. <i>Ejecución de una obra de Ventilación Mecánica Controlada</i>	19
4 VENTILACIÓN DE FLUJO SIMPLE	21
4.1. <i>Ventilación de Simple Flujo Autorregulable</i>	21
4.2. <i>Ventilación de Simple Flujo Higrorregulable</i>	22
4.3. <i>Optimización de la Ventilación de Simple Flujo</i>	22
5 VENTILACIÓN DE DOBLE FLUJO	24
1.3. 5.1. <i>Tipos de sistemas doble flujo</i>	25
5.1.1 Sistema VMC Doble Flujo Unifamiliar	25
5.1.2 Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Individualizado	26
5.1.3 Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Centralizado	26
5.2. <i>Elementos que componen el sistema de doble flujo</i>	27
5.2.1. Recuperador de calor	27
5.2.2. Sistema BY-PASS	29
5.2.3. Ventiladores → caudal de aire constante	30
5.2.4. Filtros	30
5.2.5. Conductos	32
5.2.6. Módulo de control automático	33
5.2.7. Módulo adiabático	33
5.3. <i>Ventajas de la Ventilación de Doble Flujo</i>	34
5.4. <i>Optimización de la Ventilación de Doble Flujo</i>	35
6 FREECOOLING	36
6.1. <i>Introducción</i>	36
6.2. <i>Principio de funcionamiento</i>	36
6.3. <i>Tipos de Freecooling</i>	37
6.4. <i>Selección de sistema de Freecooling</i>	37
6.5. <i>Elementos que componen el sistema de Freecooling</i>	38
6.6. <i>Ventajas de los sistemas de Freecooling</i>	39
6.7. <i>Desventajas de los sistemas de Freecooling</i>	39
6.8. <i>Dimensionado de la instalación</i>	39
7 ESTIMACIÓN COSTES RECUPERADOR DE CALOR	40
7.1. <i>Análisis en €/m³/h</i>	41

7.2.	<i>Análisis del coste total del recuperador:</i>	41
8	CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR	42
8.1.	<i>Instalación de doble flujo</i>	42
8.1.1	Esquema de distribución en árbol, conducto rígido	43
8.1.2	Esquema de distribución en estrella, conducto flexible	45
8.1.3	Conclusiones	47
8.2.	<i>Instalación de extracción simple o simple flujo</i>	48
8.2.1.	Caso 1: Estudio viviendas modelo	49
8.2.2.	Caso 2: Rehabilitación Vivienda Teruel (2020)	51
8.3.	<i>Análisis casos prácticos:</i>	53
9	CASO REAL: SIMULACIÓN DE EDIFICIOS EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS	54
9.1.	<i>Paquetes de mejoras estudiados</i>	54
9.1.1	Transmitancia de la envuelta	54
9.1.2	Transmitancia asociada a los puentes térmicos:	56
9.1.3	Transmitancia asociada al control solar	56
9.2.	<i>Simulación de los edificios seleccionados</i>	58
10	ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS	61
10.1.	<i>Condiciones de cálculo</i>	61
10.2.	<i>Ejemplo de cálculo: Entremedianeras Sur</i>	62
10.3.	<i>Análisis de resultados</i>	63
	Referencias	65
	ANEXO A: INSTALACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR CONDUCTOS RÍGIDOS	67
	ANEXO B: INSTALACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR CONDUCTOS FLEXIBLES	69
	ANEXO C: CÁLCULO DE CARGAS	71
	<i>Caso 1: Extracción simple</i>	72
	<i>Caso 2: Recuperador de calor</i>	73
	<i>Caso 3: Módulo adiabático</i>	74
	ANEXO D: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE MEJORAS A LOS EDIFICIOS	75
1.4.	<i>Bloque plurifamiliar: Entremedianeras Sur</i>	75
1.5.	<i>Bloque plurifamiliar: manzana</i>	77
1.6.	<i>Vivienda unifamiliar: pareado este</i>	78
1.7.	<i>Vivienda unifamiliar: aislada este</i>	80

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: VMC simple (Sodeca)	18
Ilustración 2: VMC doble y VMC con recuperador de calor (Sodeca)	18
Ilustración 3: Sistema de ventilación Simple Flujo centralizado (Siber)	23
Ilustración 4: Sistema de ventilación Simple Flujo Individualizado (Sodeca)	23
Ilustración 5: VMC doble sin recuperador de calor (Sodeca)	24
Ilustración 6: VMC con recuperador de calor (Sodeca)	24
Ilustración 7: Sistema VMC Doble Flujo Unifamiliar (Siber)	25
Ilustración 8: Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Individualizado (Siber)	26
Ilustración 9: Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar centralizador (Siber)	26
Ilustración 10: Tipos de intercambiadores (Sodeca)	27
Ilustración 11: Tipos de instalación (Sodeca)	28
Ilustración 12: Intercambio de aire recuperador de calor invierno + freecooling	28
Ilustración 13: Pretratamiento del aire de entrada	29
Ilustración 14: Filtros de aire exigidos por el RITE (Sodeca)	31
Ilustración 15: Esquema recuperador + Filtros (Sodeca)	31
Ilustración 16: Sistema de distribución en estrella (Soler & Palau)	32
Ilustración 17: Sistema de distribución en árbol (Soler & Palau)	32
Ilustración 18: Elementos control automático de un recuperador	33
Ilustración 19: Funcionamiento sistema freecooling	37
Ilustración 20: Sistema freecooling	38
Ilustración 21: Distribución en árbol, conducto rígido	43
Ilustración 22: Esquema recuperador en instalación de conductos rígidos	43
Ilustración 23: Esquema recuperador en instalación de conductos flexibles	45
Ilustración 24: Instalación de extracción simple	48
Ilustración 25: Instalación VMC extracción simple	49
Ilustración 27: Zonificación climática de España (Construmática)	58
Ilustración 28: Simulación de edificios HULC	59

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Caso práctico: vivienda unifamiliar conductos rígidos	44
Tabla 2: Caso práctico: vivienda unifamiliar conductos flexibles	46
Tabla 3: Comparativa Doble flujo vs Simple flujo	53
Tabla 4: Valores mínimos para la transmitancia térmica	54
Tabla 5: Valores recomendados para la transmitancia térmica	55
Tabla 6: Transmitancia térmica envuelta - paquetes de mejoras	56
Tabla 7: Transmitancia puentes térmicos – paquete de mejoras	56
Tabla 8: Transmitancia total de energía solar	57
Tabla 9: Clases térmicas según la normativa EN 14501	57
Tabla 10: Transmitancias simulación	59
Tabla 11: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – B4	62
Tabla 12: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – E1	62
Tabla 13: Porcentaje de mejora viviendas plurifamiliares - calefacción	63
Tabla 14: Porcentaje de mejora viviendas plurifamiliares – refrigeración	63
Tabla 15: Porcentaje de mejora viviendas unifamiliares - calefacción	63
Tabla 16: Porcentaje de mejora viviendas unifamiliares – refrigeración	64
Tabla 17: Componentes instalación de conductos rígidos	68
Tabla 18: Componentes instalación de conductos flexibles	70
Tabla 19: Extracción simple Invierno	72
Tabla 20: Extracción simple Verano	72
Tabla 21: Recuperador de calor Invierno	73
Tabla 22: Recuperador de calor Verano	73
Tabla 23: Módulo adiabático Verano 12h	74
Tabla 24: Módulo adiabático Verano 24h	74
Tabla 25: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – A3	75
Tabla 26: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – B4	75
Tabla 27: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – C2	76
Tabla 28: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – D2	76
Tabla 29: Cálculo de cargas – Entemedianeras Sur – E1	76
Tabla 30: Cálculo de cargas – Manzana – A3	77
Tabla 31: Cálculo de cargas – Manzana – B4	77
Tabla 32: Cálculo de cargas – Manzana – C2	77
Tabla 33: Cálculo de cargas – Manzana – D2	78
Tabla 34: Cálculo de cargas – Manzana – E1	78
Tabla 35: Cálculo de cargas – Pareado este – A3	78
Tabla 36: Cálculo de cargas – Pareado este – B4	79
Tabla 37: Cálculo de cargas – Pareado este – C2	79

Tabla 38: Cálculo de cargas – Pareado este – D2	79
Tabla 39: Cálculo de cargas – Pareado este – E1	80
Tabla 40: Cálculo de cargas – Aislado este – A3	80
Tabla 41: Cálculo de cargas – Aislado este – B4	80
Tabla 42: Cálculo de cargas – Aislado este – C2	81
Tabla 43: Cálculo de cargas – Aislado este – D2	81
Tabla 44: Cálculo de cargas – Aislado este – E1	81

ÍNDICE DE GRÁFICAS

Gráfica 1: Coste en €/m ³ /h del recuperador	41
Gráfica 2: Coste total recuperador de calor	41

1 INTRODUCCIÓN

1.1. Panorama energético actual y marco normativo europeo

La directiva 2010/31/UE de 19 de mayo 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (DEEE), que persigue una reducción de la energía que estos consumen, establece directrices que promueven la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo ECCN, así como las mejores prácticas para garantizar que, antes de que finalice la presente década, todo el parque inmobiliario de nueva construcción esté formado por edificaciones cuyo consumo de energía sea prácticamente inexistente. [1]

La directiva basa sus directrices en diferentes datos. Se recalca que la política de eficiencia energética debe tener en consideración el sector de la construcción ya que los edificios son responsables de aproximadamente el 40% del consumo de energía y el 36% de las emisiones de CO₂ en la UE, lo que los convierte en el mayor consumidor de energía de Europa.

Teniendo en cuenta que se trata de un sector con una alta actividad, es de esperar que este consumo de energía también se vea incrementado con el paso del tiempo. Sin duda, reducir el consumo de energía de los edificios y promover las energías renovables es necesario para minimizar la actual dependencia energética del continente, así como las emisiones de gases de efecto invernadero.

Tanto la aplicación de medidas adoptadas para minimizar el consumo energético como el empleo de energías renovables posibilitarían el cumplimiento por parte de la Unión Europea del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. De igual manera, permitiría cumplir el acuerdo según el cual todos los países miembros se comprometen a evitar que el incremento de la temperatura del planeta exceda de los 2°C y a reducir en un 20%, como mínimo, las emisiones de gases de efecto invernadero, en relación con los niveles de emisión de la última década del siglo XX (si se alcanzase una alianza a nivel internacional, la cifra podría aumentar hasta el 30%). [1]

Reducir el consumo energético y promover el uso de energías limpias procedentes de fuentes renovables asegura, a su vez, el suministro energético (al tratarse de fuentes de energía no finita), así como el desarrollo tecnológico. Además, supone la creación de puestos de trabajo y la posibilidad de desarrollo de ciertas zonas rurales. Por otro lado, hace hincapié en la importancia de dejar en manos de la Unión Europea la gestión de la demanda energética, ya que esta pasa a ser pieza clave en el mercado energético global, además de ser una garantía de aprovisionamiento tanto a medio como a largo plazo.

La directiva insiste en que “la completa aplicación y ejecución de la normativa energética vigente está reconocida como prioridad absoluta” y que es imprescindible instaurar acciones más concretas para aprovechar el gran potencial de ahorro energético. En cuanto a los edificios existentes, el documento establece que “todos los Estados miembros han de aplicar políticas de apoyo que fomenten la adaptación del parque inmobiliario existente a unos niveles de consumo de energía casi nulo”.

La Unión es consciente de que el sector inmobiliario existente es viejo e ineficiente desde el punto de vista energético, y de que su renovación, si bien se está llevando a cabo en todos los países, es un proceso lento. En consecuencia, y de acuerdo con la DEEE, es necesario que los edificios actuales se reformen de manera gradual para que adquieran unos niveles óptimos de eficiencia energética. Esto nos lleva al término de ECCN (Edificio de Consumo Casi Nulo)

1.1.1 Edificio de consume casi nulo

La Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD 2018/844/UE), ha modificado la Directiva 2012/27/UE, enviando la señal política para modernizar el sector de los edificios utilizando mejoras tecnológicas en las renovaciones de edificios que apoyan al menos el 32,5% de ahorro de energía y al menos el 32% de energía procedente de fuentes renovables para 2030 en línea con la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios (UE) 2018/2001.

El EBPDEU 2018/844 esboza medidas específicas para el sector de la construcción con el fin de hacer frente a los desafíos ambientales mencionados, actualizando y modificando muchas disposiciones de la Directiva 2010/31/UE y exige que todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo (ECCN) a partir del 31 de diciembre de 2020.

Un ECCN, es un edificio cuyo nivel de eficiencia es muy elevado y que garantiza que la demanda de energía es nula o casi nula, ya que esta se encuentra cubierta, en gran medida, gracias a la energía que procede de fuentes renovables (ello incluye la energía que procede de fuentes de energía renovables generadas en el propio edificio en su entorno más inmediato). [1]

El propio concepto de ECCN pone de relieve la estrecha relación que existe entre energía renovable y medidas eficientes, ya que una vez aplicadas en los edificios, la energía renovable minimizará la proporción de energía neta que se suministra. Para conseguir que los edificios alcancen un consumo de energía de un nivel casi nulo será necesario, en la mayoría de casos, practicar medidas de eficiencia energética que complementen a aquellas implantadas en el propio edificio, pues la generación de energía renovable in situ, si bien reducirá el consumo a niveles muy bajos, no lo eliminará

Mayoritariamente, la energía consumida proviene de los sistemas de calefacción y refrigeración, de la iluminación, del calentamiento del agua para uso doméstico y de los sistemas de ventilación. Cuanta menos cantidad de energía necesite para satisfacer la demanda, más eficiente será el edificio. Por lo tanto, es de suma importancia comenzar a poner en cuestión los sistemas de climatización y refrigeración convencionales y pensar en sistemas de ventilación eficientes y sostenibles que garanticen el confort térmico sin poner en riesgo ni el medio ambiente ni la salud de las personas.

Se trata de edificaciones con un grado de aislamiento térmico muy elevado, en el que se han llevado a cabo rigurosos controles de todos los puentes térmicos (eliminandolos en su totalidad), así como de las infiltraciones no deseadas de aire proveniente del exterior. Las carpinterías de la envolvente exterior tienen una calidad elevada y están diseñados y contruidos de manera que se aprovecha la energía solar en su totalidad. Además, la instalación de un sistema de ventilación mecánica controlada dotada de un recuperador de calor de alta eficiencia energética consigue calentar el ambiente interior prescindiendo de los sistemas de calefacción convencionales (ineficientes desde el punto de vista energético).

Un edificio que cumpla con todos estos requisitos (orientación adecuada, una envolvente hermética que cumpla con las exigencias de ahorro energético establecidas en la normativa vigente y un sistema de aprovechamiento de la energía solar) no solo garantizará un consumo mínimo de energía, sino que asegurará una elevada calidad del aire interior de todas las zonas de la casa, de manera que será posible el ahorro económico (dado el ahorro energético) sin poner en riesgo el confort, el bienestar y la salud de las personas que lo ocupan.

En este trabajo de fin de master vamos a realizar el estudio de las mejoras asociadas a las instalaciones de calefacción y refrigeración.

Para optimizar el consumo energético de las instalaciones técnicas de las edificaciones, los Estados miembro de la Unión Europea fijan unos requerimientos relacionados con la eficiencia energética general (correcta instalación y dimensionado, implantación de controles y ajustes) de las instalaciones presentes en las edificaciones existentes. [1]

De igual manera, también pueden aplicar estas exigencias a los sistemas de instalaciones de los edificios de nueva construcción. De esta manera, se estipularán exigencias para las instalaciones nuevas y para las que sustituyan a las existentes y las mejoren.

Estas exigencias se aplican a las instalaciones de calefacción, de agua caliente, de refrigeración y de ventilación. Un sistema de climatización y ventilación que persiga la reducción en el consumo de energía ha de procurar lo siguiente:

- Que la producción de energía, tanto de calefacción como de refrigeración, se adapte a la demanda y la necesidad reales.
- Que permita un empleo del calentamiento y enfriamiento “gratuito” eficiente, mediante la utilización de energía solar y terrestre, y un sistema eficiente de ventilación y refrigeración nocturnas.
- Que sea capaz de repartir de manera eficiente y eficaz el calor y el frío por todas las zonas del edificio, procurando la menor pérdida de carga energética posible.
- Que emplee, siempre que sea posible, energías renovables.
- Que sean capaces de funcionar al máximo rendimiento, cualesquiera que sean las condiciones estimadas de funcionamiento.
- Que minimice al máximo el consumo de energía eléctrica.

1.2. Necesidad de una nueva metodología de certificación energética unificada

En virtud de la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios, todos los países de la UE han establecido sistemas independientes de certificación de la eficiencia energética apoyados por mecanismos independientes de control y verificación.

En la actualidad existen 35 metodologías nacionales y regionales diferentes para calcular la eficiencia energética de los edificios, lo que se ajusta al principio de subsidiariedad y a la flexibilidad que permite la Directiva sobre la eficiencia energética de los edificios. Sin embargo, esto puede impedir las comparaciones nacionales del rendimiento de los edificios y las inversiones en su renovación. Esto ha contribuido a la fragmentación del mercado y ha limitado el uso de tecnologías similares en varios países europeos. El sector de la construcción, los financieros y los agentes del mercado inmobiliario, así como los tasadores, necesitan un método armonizado de cálculo de la eficiencia energética en los EPC.

Los procesos de evaluación y los certificados tienen que ser más fiables, fáciles de usar, rentables, de buena calidad y conformes a la legislación de la UE para infundir confianza en el mercado e incitar a las inversiones en edificios energéticamente eficientes. Tienen que reflejar cada vez más la dimensión inteligente de los edificios y, al mismo tiempo, facilitar la convergencia de la calidad y la fiabilidad de los certificados de eficiencia energética (EPC) en toda Europa.

Las metodologías de rendimiento energético de los edificios también deben garantizar un enfoque tecnológicamente neutro y presentarse de forma transparente haciendo uso de las normas internacionales y europeas, en particular las normas ISO/CEN desarrolladas bajo el mandato M/480 de la Comisión, destinadas a permitir la presentación de opciones nacionales y regionales sobre una base comparable.

Los sistemas de evaluación de la eficiencia energética de la próxima generación valorarán los edificios de forma holística y rentable en varias dimensiones complementarias: rendimiento de la envolvente, rendimiento del sistema y preparación inteligente (es decir, la capacidad de los edificios para ser supervisados y controlados de forma inteligente y para participar en estrategias de gestión de la demanda). La evaluación debería basarse en una lista acordada de parámetros/indicadores, como, por ejemplo, el uso anual calculado de la energía final, la proporción de energía renovable utilizada, los consumos finales de energía pasados (corregidos por el clima) y el gasto energético, los niveles de confort o el nivel de inteligencia.

Los métodos de evaluación deberían tener cada vez más en cuenta las medidas de rendimiento (datos reales medidos) haciendo uso de los datos disponibles y cada vez más numerosos relacionados con la energía de los edificios procedentes de sensores, contadores inteligentes, dispositivos conectados, etc. Estos nuevos regímenes deberían contribuir a mejorar la eficacia de los certificados, demostrando cómo podrían

reforzarse, modernizarse y vincularse mejor a los regímenes de certificación nacionales/regionales integrados en un marco que facilite la comprobación del cumplimiento y la eficacia del apoyo financiero.

La aplicabilidad de la evaluación y de los sistemas de certificación debe evaluarse a través de un amplio conjunto de casos realistas y bien orientados, que presenten diversas ubicaciones, tipos de edificios, condiciones climáticas y prácticas de campo, incluidos los sistemas EPC nacionales existentes. El objetivo de la evaluación será demostrar el potencial de adopción de los sistemas de evaluación y certificación propuestos en toda Europa, con arreglo a criterios bien definidos.

El objetivo principal es desarrollar un nuevo sistema de certificación de la eficiencia energética con vistas a una estandarización internacional para aumentar la convergencia de la evaluación y la certificación de la eficiencia energética de buena calidad y fiable y cumplir las directivas y normas de la UE.

1. Abordar los problemas actuales implicando a las partes interesadas: Organismos de certificación, entidades emisoras de EPC y usuarios finales.
2. Desarrollo de un nuevo esquema EPC de tecnología neutra basado en ISO 52016-1:2017 y EN 16798-1:2019.
3. Demostrar y evaluar el impacto del nuevo EPC.

2 INTRODUCCIÓN A LA VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA (VMC)

Existen varias formas de ventilar y sustituir el aire del interior de una vivienda o edificio, en estos últimos años, se ha dado un uso excesivo del aire acondicionado, especialmente en los meses de verano. Esta alternativa no es la más adecuada ya que se deben tener en cuenta los siguientes factores en relación al bienestar óptimo en el interior de la vivienda o el edificio. [2]

- **Consumo Energético:** el aire acondicionado necesita una cantidad elevada de energía para su funcionamiento, y en la actualidad, no es recomendable debido a cuestiones del CO₂ y su influencia en el cambio climático.
- **Regulación del aire y temperatura:** para un bienestar óptimo, se debe de configurar el modo de ventilación y la temperatura del aire acondicionado según las condiciones térmicas del interior de la vivienda o edificio.

Una forma sencilla de ventilar y renovar el aire es abriendo las ventanas, aunque esta forma de ventilar presenta una serie de desventajas:

- La energía generada para calentar o enfriar el interior de la vivienda se desperdicia.
- En zonas donde la contaminación es más elevada de lo habitual, se está introduciendo aire contaminado al interior de la vivienda.
- En zonas ruidosas, se puede llegar a generar incomodidad acústica.
- La ventilación no es continua, por lo que la regeneración del aire dura muy poco tiempo.
- En situaciones de condiciones climáticas adversas como la lluvia o el granizo no se puede realizar la ventilación.

Como alternativa a las anteriores propuestas están los sistemas VMC (sistemas de ventilación mecánica controlada) que son aquellos en los que el movimiento del aire, introducido y expulsado en un edificio, se genera por la acción de un ventilador.

Las normativas actuales, que buscan lograr una mayor eficiencia energética, han promovido la construcción de edificios cada vez más estancos. Por eso es necesario implementar soluciones de VMC para evacuar el aire viciado y aportar el aire nuevo necesario para obtener una calidad de aire interior adecuada.

El Código Técnico de Edificación (CTE) establece, en su documento básico DB HS 3, los requerimientos generales de ventilación en viviendas, donde se especifica que “deben disponer de un sistema general de ventilación que puede ser híbrida o mecánica”.

Los sistemas de VMC también permiten cumplir con la Directiva europea de eficiencia energética en edificios (EPBD) que entra en vigor en 2020, y que establece los requisitos mínimos óptimos de eficiencia energética que deben cubrir el edificio, sus componentes y la energía consumida en ventilación.

La VMC plantea la ventilación de la vivienda en su conjunto, considerando cada estancia en función de su uso y con el objetivo de garantizar la calidad de aire de cada una de ellas.

La ventilación mecánica controlada puede realizarse principalmente de dos formas: por extracción mecánica y admisión natural (sistema de simple flujo) o por extracción y admisión mecánica, conocido también como sistema de doble flujo.

Ambos sistemas provocan movimiento de aire hacia los puntos húmedos desde las zonas secas por depresión en los baños y cocina. De esta manera los contaminantes generados en las zonas húmedas no se extienden por el resto de la vivienda.

En el sistema de doble flujo, el aire exterior se atempera por intercambio con el aire proveniente del interior de la vivienda sin que se mezclen, lo que permite transferir la energía sin que el aire se vicie.

La cesión de calor en este tipo de dispositivos nos permite calentar el aire frío que entra del exterior en invierno, mientras que en verano nos permite enfriar el aire caliente del exterior. Así se reduce significativamente la carga térmica de la vivienda por ventilación.

Estos sistemas realizan tanto la extracción como la impulsión del aire de manera mecánica, utilizando una red de conductos para distribuir el aire por la vivienda.



Ilustración 1: VMC simple (Sodeca)



Ilustración 2: VMC doble y VMC con recuperador de calor (Sodeca)

3 INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN MECÁNICA CONTROLADA

3.1. Planificación del proyecto y arquitectura

La ventilación no planificada puede provocar fugas de calor y malestar de las personas que habitan la vivienda debido a la entrada en el hogar de aire frío y ruido del exterior. Tener en cuenta la instalación de ventilación desde la fase de proyecto nos permitirá obtener mejores resultados a nivel energético, de mantenimiento y de confort para el usuario. Por ello, a nivel de proyecto debemos de tener presentes las siguientes consideraciones [3]:

- **Calcular y diseñar adecuadamente el sistema elegido.** Es muy importante respetar las velocidades máximas de paso. También es recomendable que la presión disponible en las bocas de impulsión y extracción no sea excesiva con el objetivo de reducir el ruido generado por las mismas.
- **Implantar las medidas necesarias para atenuar el ruido generado por la instalación.** Además de limitar la velocidad de paso de aire se deberá considerar la instalación de silenciadores que atenúen el ruido generado por el ventilador y transmitido por el conducto.
- Prever sistemas que garanticen la estanqueidad de la red.
- **Disminuir al máximo la pérdida de carga del circuito**, ya que a menor presión conseguiremos un menor consumo y menos ruido.

Si aplicamos estas consideraciones en la obra obtendremos mejoras significativas:

- **Aumento del confort en la vivienda.** Instalar los equipos en zonas en las que el ruido sea imperceptible para el usuario. Además, podremos ubicar las entradas y salidas de aire en lugares en los que éste no perciba el contraste térmico ni los movimientos de aire.
- **Reducción de costes de operación.** La optimización del gasto energético debida a una correcta elección del sistema de ventilación y a un diseño bien calculado permite una reducción notable de la factura energética que el usuario deberá afrontar cada mes.
- **Simplificación de los mantenimientos.** Planificar con antelación a la obra la ubicación de los conductos y equipos favorecerá un mejor acceso a los mismos a la hora de realizar el mantenimiento.

3.2. Ejecución de una obra de Ventilación Mecánica Controlada

Pese a proyectar el sistema de VMC desde la fase inicial del proyecto, los cambios que se producen durante la ejecución de la obra pueden conllevar que la instalación no se corresponda con lo que habíamos definido. Por ello, debemos de realizar un seguimiento de la instalación del sistema VMC con el fin de poder beneficiarnos de todas sus ventajas. [3]

Las modificaciones más habituales que se suelen producir y a las que debemos prestar atención son:

- **Trazado diferente a lo proyectado.** Si esto sucede, deberemos confirmar con el proyectista la factibilidad de los cambios. Una instalación de VMC es más sensible a la modificación del trazado

que otras instalaciones, por lo que debemos de comprobar su viabilidad de cara a garantizar su correcto funcionamiento.

- **Cambios de sistema en aras de una reducción de costes.** Tenemos que ser conscientes de que una modificación en el sistema influirá negativamente en la calidad del aire. Además, el uso de soluciones de ventilación más básicas también puede generar un mayor consumo energético y un mayor ruido, generando molestias al usuario.
- **Vigilancia de la estanqueidad de la red.** Se debe prestar especial hincapié en la ejecución correcta del montaje de los conductos. Las posibles fugas existentes en la red generan mayor consumo del ventilador e incluso un incorrecto funcionamiento del sistema.
- **Evacuación de los condensados.** En las instalaciones de doble flujo se generan condensaciones en el intercambiador de calor que deben ser evacuadas hacia un desagüe. Es esencial asegurarse que dicha evacuación es correcta y se deben vigilar principalmente:
 - **Inclinación del recuperador.** Ciertos equipos deben ser instalados con una pendiente que facilite la evacuación de los condensados.

Conducto de desagüe. El conducto debe respetar la pendiente mínima de desagüe y deberá disponer de un sifón para evitar el revoque de olores

4 VENTILACIÓN DE FLUJO SIMPLE

El sistema de simple flujo está diseñado para la extracción individual del aire viciado y la renovación natural del aire en las viviendas en función de caudales constantes.

Su funcionamiento está basado en la extracción de aire en los baños y en la cocina (zonas en depresión) de forma que el movimiento de aire se realiza hacia los puntos húmedos desde las zonas secas. De esta manera los contaminantes y los olores generados en las zonas húmedas no se extienden por el resto de la vivienda.

Los sistemas de ventilación de simple flujo se dividen en sistemas higrorregulables y sistemas autorregulables.

4.1. Ventilación de Simple Flujo Autorregulable

El aire viciado es extraído en zonas húmedas como las cocinas, los cuartos de baño o los aseos a través de bocas conectadas al grupo de ventilación mediante conductos. El aire nuevo se introduce mediante entradas de aire autorregulables, las cuales pueden ser estándares o acústicas, colocadas encima de las estancias secas, como pueden ser los dormitorios, los comedores o las salas de estar. [2]

Ventajas del uso de una instalación de ventilación de simple flujo autorregulable:

- **Mejor calidad del aire:** se consigue una sensación de bienestar e higiene óptimas ya que el aire está en constante renovación, eliminando los malos olores y las humedades.
- **Preservación del edificio:** impide el desarrollo de mohos y el deterioro de los materiales constructivos por causas como la humedad.
- **Facilidad de Montaje:** debido a la posibilidad de montar hasta conductos rectangulares de 3 metros, junto a los empalmes y accesorios, su montaje es más sencillo en comparación con el sistema tradicional.
- **Flexibilidad en el dimensionado de los pisos y reducción del espacio necesario:** con la combinación de los codos y accesorios, se pueden elaborar formas geométricas, pudiendo evitar obstáculos y adaptándose a cualquier tipo de edificio independientemente de sus características.
- **Evacuación/Conducción óptima de ventilación:** se evita usar materiales de sellado, haciendo de este sistema un sistema liso y estanco con un volumen constante de extracción, evitando también turbulencias y retornos.
- **Mejora del tiempo de ejecución de obra:** Se reduce considerablemente el tiempo de la ejecución de obra por su facilidad y rapidez de montaje.
- **Control de rango de ventilación:** Se puede realizar un control independiente para cada vivienda.

4.2. Ventilación de Simple Flujo Higrorregulable

El aire es extraído de las estancias y zonas húmedas, como pueden ser la cocina, los cuartos de baño o los aseos, mediante bocas higrorregulables que se abren dependiendo de la humedad detectada en el ambiente, o también mediante bocas con temporizador, las cuales están conectadas al grupo de ventilación a través de conductos.

El aire nuevo entra a través de entradas de aire higrorregulables, las cuales están colocadas encima de las ventanas de las estancias secas, como pueden ser los dormitorios, las salas de estar o los comedores. De esta forma, se consigue una ventilación óptima y un bienestar general para los inquilinos de los edificios. [2]

- **Confort Térmico:** Se logra un gran bienestar y confort térmico cuando se efectúa su instalación al eliminar las molestias debido a la circulación descontrolada del aire
- **Reducción de la ocupación de los conductos:** Debido a sus singulares características, se pueden ahorrar varios metros cúbicos para la instalación de otros sistemas, siendo un factor clave para elegir este sistema de ventilación.
- **Utilización de grupos de ventilación de bajo consumo:** Su funcionamiento logra que su consumo sea muy inferior con respecto a otros sistemas de ventilación.
- **Confort acústico garantizado:** Debido a sus características se logra evitar la aparición de ruidos indeseables y lograr un confort acústico adecuado.

4.3. Optimización de la Ventilación de Simple Flujo

Para que la ventilación de simple flujo funcione de manera efectiva, hay una serie de indicaciones que deben tenerse en cuenta a la hora de realizar la instalación del sistema de ventilación: [2]

- **Posicionamiento de las bocas de extracción:** instalación de las bocas de extracción ya sean autorregulables o higrorregulables en la cocina y en el baño donde normalmente se concentran los malos olores y los excesos de humedad. En el caso de los baños, debido a la cantidad de vapor de agua que se acumula es de especial importancia que en caso de instalar sistemas de simple flujo higrorregulables una de las bocas se instale aquí.
- **Posicionamiento de las entradas de aire:** las entradas de aire normalmente se instalan en los salones y los dormitorios, para permitir que los lugares donde se pasa más tiempo cuenten siempre con aire renovado y de calidad.
- **Sistema adecuado para edificios colectivos:** la envergadura de estos proyectos es mayor, los costes son más altos y es necesario estudiar la estructura y posicionamiento de toda la vivienda para una instalación óptima. Es por ello que es adecuada la instalación de sistemas de simple flujo centralizados ya que posibilitan agrupar los canales de extracción.
- **Limpieza periódica** de las rejillas para un correcto funcionamiento de la extracción.

Este sistema de ventilación es aplicable tanto en el sistema centralizado propio de una vivienda como en el colectivo.

A modo de ejemplo, se van a mostrar mediante una serie de ilustraciones los flujos de extracción de aire y los de renovación de aire, así como la red de conductos necesaria para realizar la instalación en una vivienda individual y en un edificio plurifamiliar.

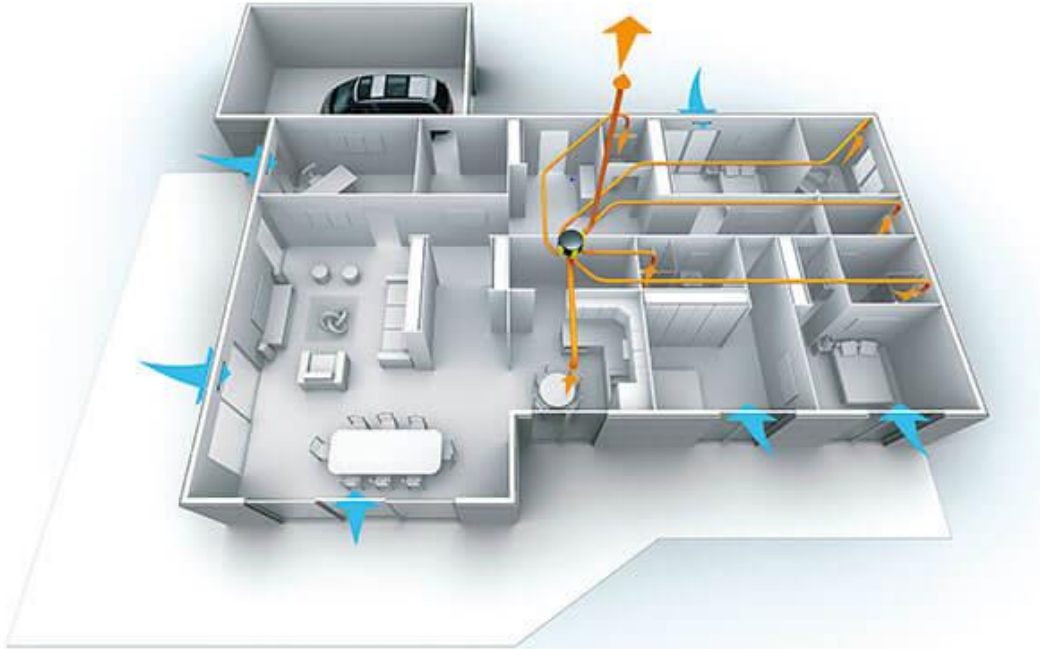


Ilustración 3: Sistema de ventilación Simple Flujo centralizado (Siber)

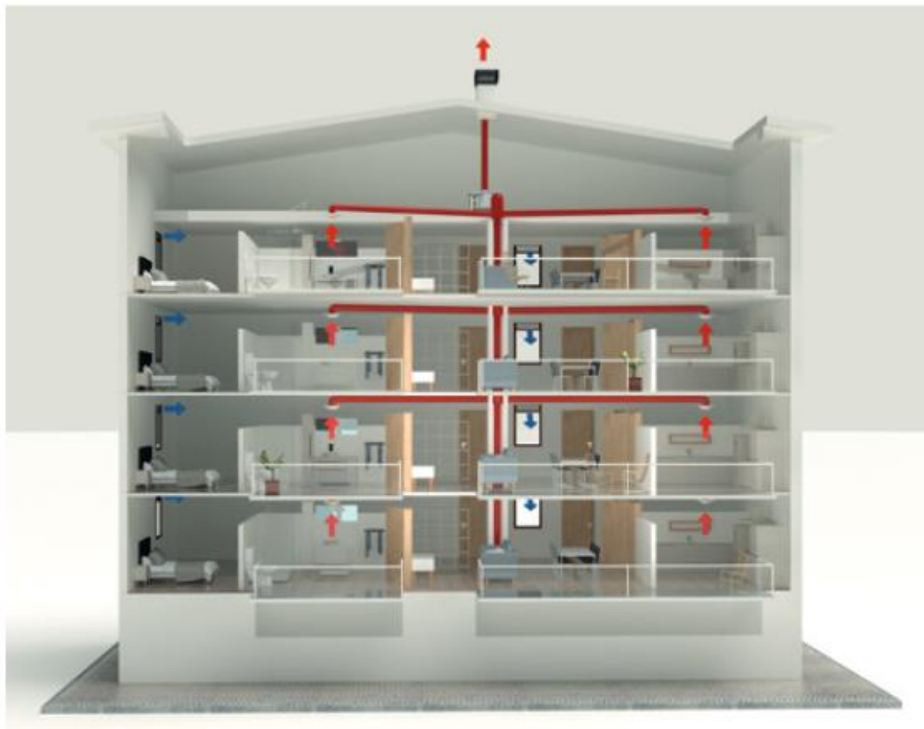


Ilustración 4: Sistema de ventilación Simple Flujo Individualizado (Sodeca)

Para los el colectivo, es necesario resaltar como una de las principales ventajas el poder regular cada vivienda de forma independiente.

5 VENTILACIÓN DE DOBLE FLUJO

Este sistema es llamado de doble flujo debido a que es capaz de realizar por sí mismo la extracción del aire hacia el exterior y la introducción del aire renovado, de manera mecánica. Esta solución monta también una unidad recuperadora de calor que conecta los impulsos de entrada y salida de aire, por lo que es considerado **eficiente energéticamente**.

Con los **sistemas de ventilación de doble flujo** es posible ahorrar energía en invierno y también en verano.

Es necesario tener en cuenta que se exige la instalación de recuperadores de calor en toda instalación climatizada que trate un caudal superior a 1800 m³/h.

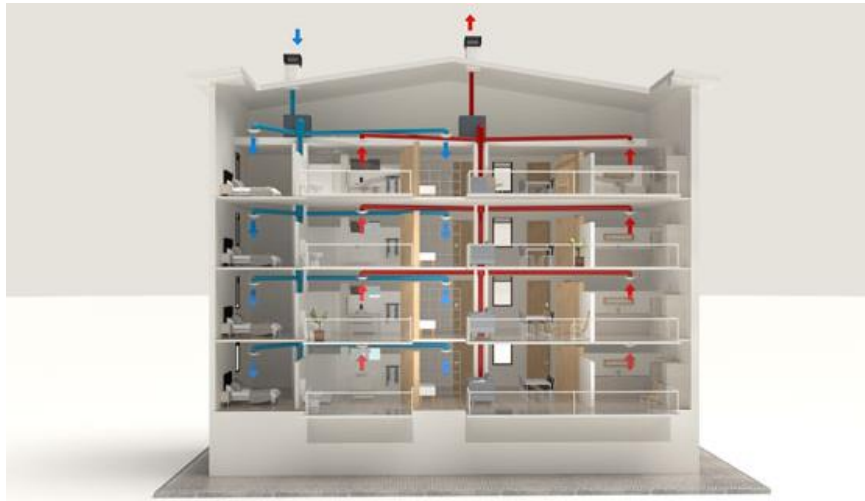


Ilustración 5: VMC doble sin recuperador de calor (Sodeca)

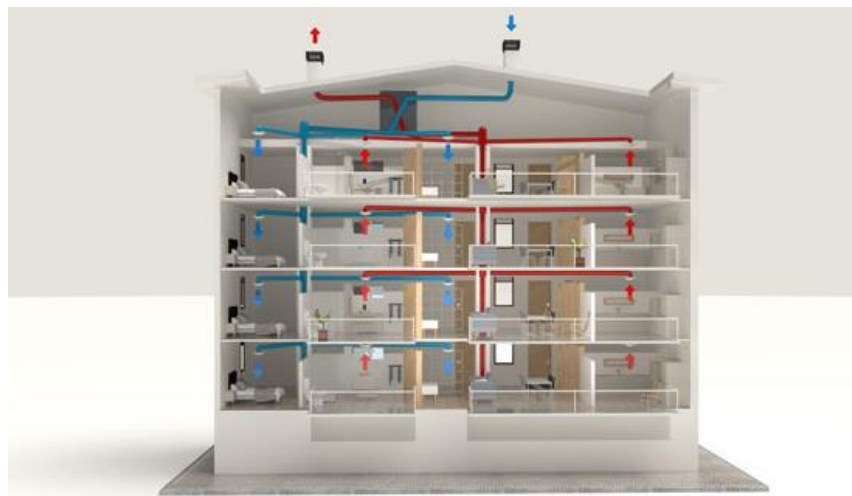


Ilustración 6: VMC con recuperador de calor (Sodeca)

1.3. 5.1. Tipos de sistemas doble flujo

Según la distribución de los conductos y de cómo se realiza el aporte de aire a cada vivienda, podemos distinguir entre varios casos de VMC de doble flujo, para unifamiliares y para edificios plurifamiliares: el centralizado y el individualizado.

5.1.1 Sistema VMC Doble Flujo Unifamiliar

La unidad compacta de extracción y de impulsión es propia de la vivienda.

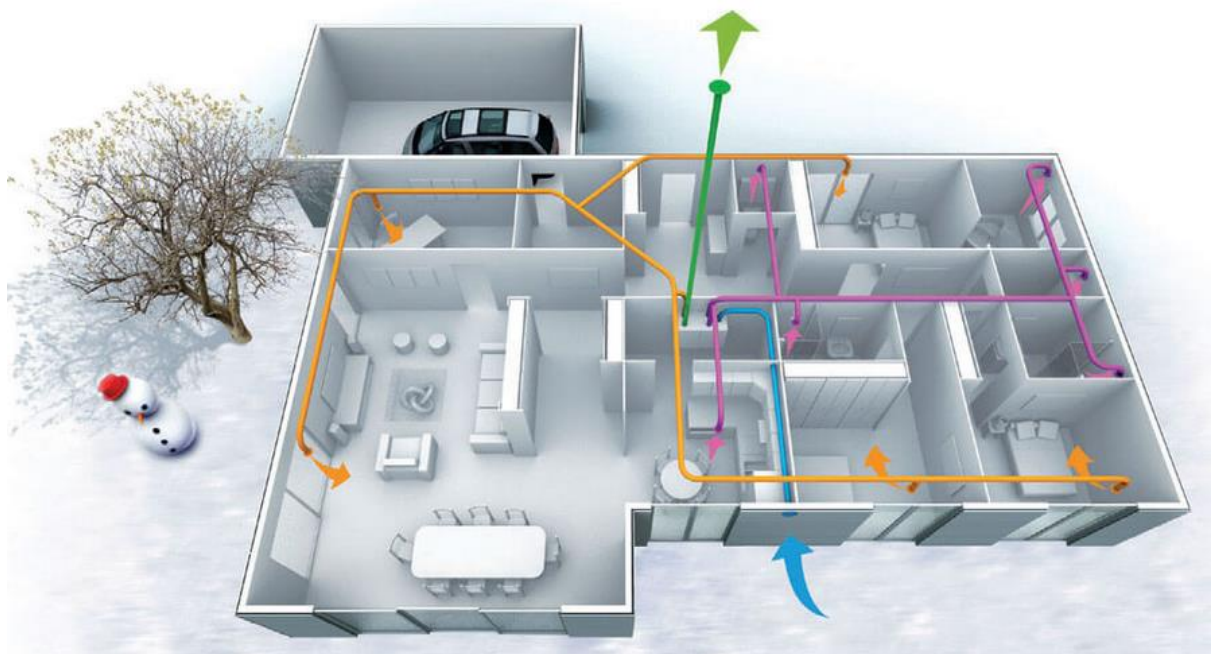


Ilustración 7: Sistema VMC Doble Flujo Unifamiliar (Siber)

5.1.2 Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Individualizado

La unidad compacta de extracción y de impulsión se encuentra en cada una de las viviendas. Dada la compacidad y la posibilidad de instalar conductos extraplanos, la falta de espacio no supone un problema para su instalación.



Ilustración 8: Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Individualizado (Siber)

5.1.3 Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar Centralizado

El sistema de ventilación centralizado consta de dos extractores colectivos en cubierta, un grupo de insuflación para insuflar el aire nuevo del exterior hacia las zonas secas (habitaciones, salas y comedores) y un grupo de extracción para expulsar el aire viciado de las zonas húmedas (cocinas, baños y lavaderos). Cada vivienda dispondrá de su propio recuperador de calor.

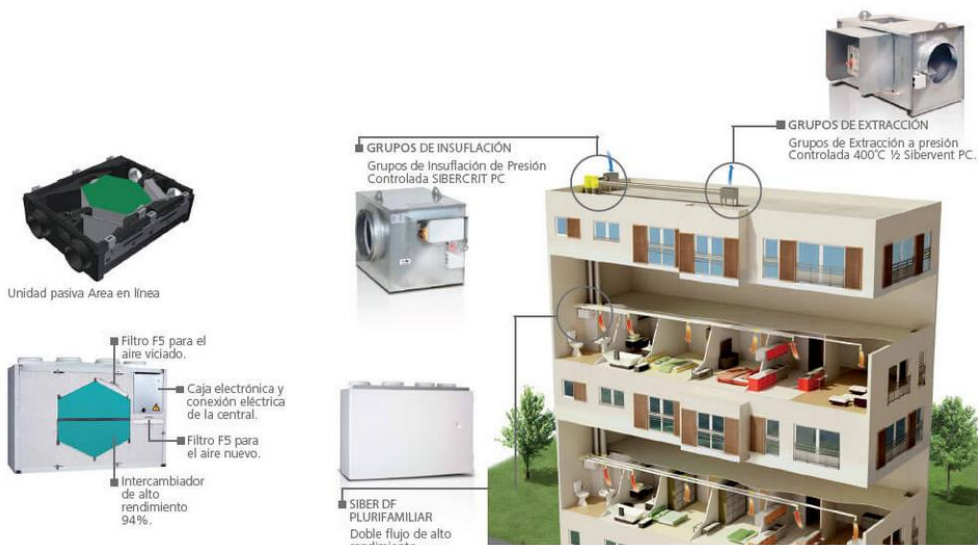


Ilustración 9: Sistema VMC Doble Flujo Plurifamiliar centralizador (Siber)

5.2. Elementos que componen el sistema de doble flujo

Los sistemas de doble flujo están compuestos básicamente por un intercambiador de calor/frío, una serie de conductos que redirigen el aire, filtros instalados en las entradas de aire, un ventilador para impulsión y otro para la extracción.

Como son elementos muy importantes en la instalación, se va a estudiar cada uno de forma independiente.

5.2.1. Recuperador de calor

El recuperador de calor es la pieza clave en los edificios en los que se persigue un consumo bajo o casi nulo. La función de un recuperador de calor es la de recuperar la energía que se expulsa hacia el exterior mediante el aire de extracción durante el proceso de renovación del aire (en la que el aire interior contaminado en malas condiciones higiénicas se reemplaza por un aire fresco y saludable procedente del exterior).

Los recuperadores disponen de un intercambiador de calor de manera que la energía se transmite desde el aire de extracción (calor durante la época invernal y frío durante la época estival) al aire de impulsión. A mayor eficiencia térmica del intercambiador, menor necesidad de aporte adicional de climatización, actualmente la tecnología permite llegar a valores de hasta el 90%.

El diseño del sistema permite que los flujos de aire de extracción y de impulsión intercambien la energía sin que se produzca contacto alguno, de modo que no traspasan los olores ni partículas de uno a otro flujo. En la entrada de aire, la instalación de filtros se encargará de retener el polen, el polvo, el hollín y demás partículas por lo que se eliminarán riesgos de sufrir alergias y demás problemas respiratorios.

5.2.1.1. Tipo de recuperadores

Podemos realizar varias distinciones:

- 1) Si el intercambiador es de calor sensible o entálpico. Los entálpicos recuperan calor y humedad, con lo que la eficiencia es superior, pero precisan de limpiezas regulares para un funcionamiento seguro. Para los sistemas de doble flujo en viviendas se ha consultado distintos fabricantes y actualmente solo se utilizan recuperadores con intercambio únicamente de temperatura.
- 2) La forma en la que intercambia el calor → disposición de las placas:



Placas de flujos cruzados

- 50-70% de eficiencia térmica.
- Sin fugas entre los circuitos de aire.
- Compactos y económicos.



Placas a contraflujo

- 80-95% de eficiencia térmica.
- Sin fugas entre los circuitos de aire.
- Requieren equipos de mayor tamaño.



Rotativos

- 70-85% de eficiencia térmica.
- Compactos.
- Pueden funcionar en modo BY-PASS.

Ilustración 10: Tipos de intercambiadores (Sodeca)

3) Tipos de instalación:

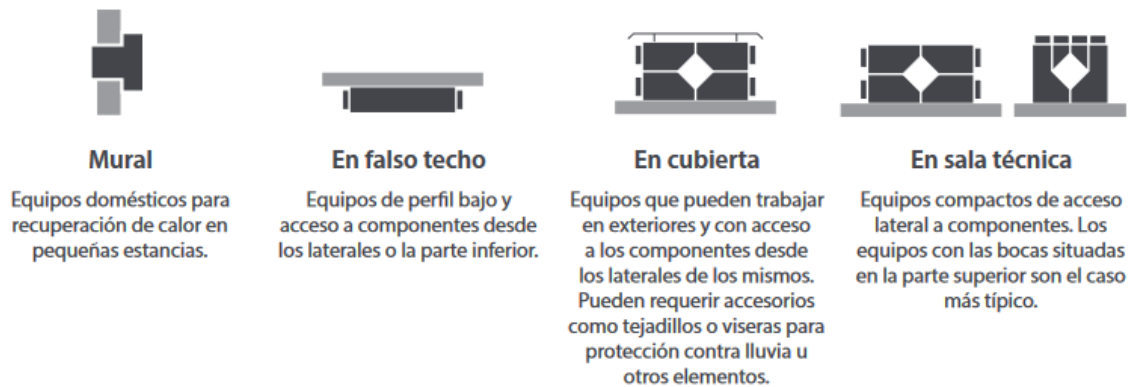


Ilustración 11: Tipos de instalación (Sodeca)

5.2.1.2. Funcionamiento del recuperador

Invierno: el intercambiador térmico ayuda a mantener la temperatura en la vivienda. Cuando hay 5° C en el exterior y 20° C en el interior, el aire nuevo entra a 19°C.

Verano: el aire nuevo que entra en la vivienda se enfría gracias al aire viciado que extraemos de la vivienda evitando el recalentamiento de la vivienda. Cuando hay 30°C fuera y 21°C en el interior, el aire nuevo entra a 22°C solamente, refrescamiento en verano.

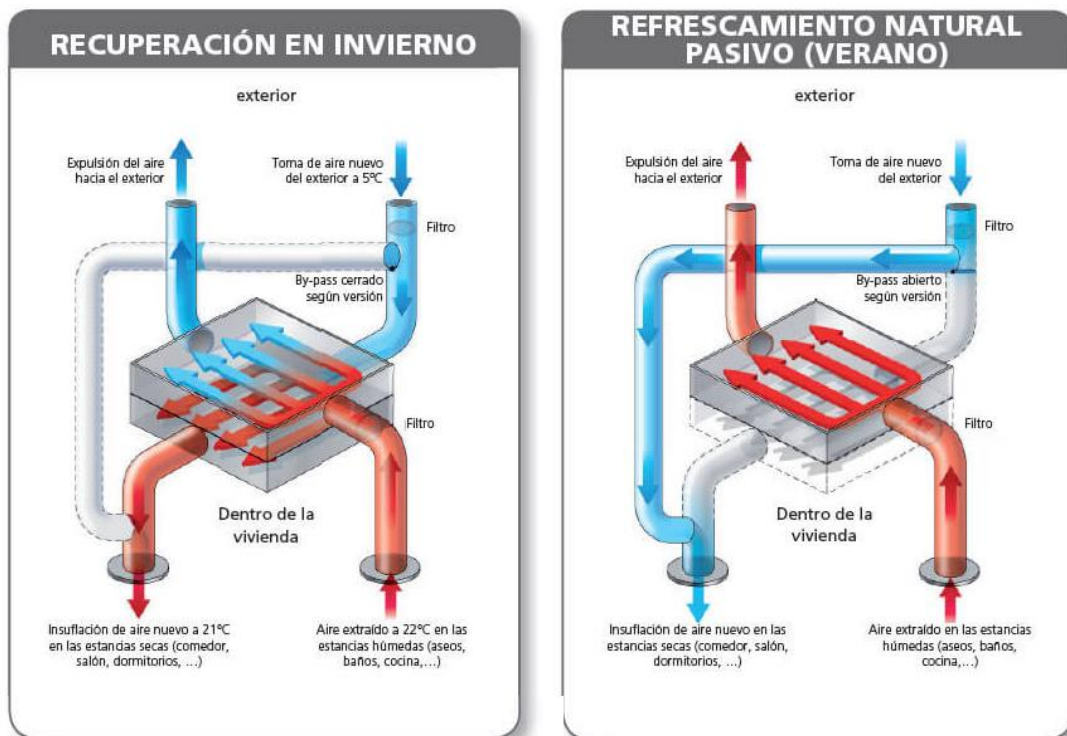


Ilustración 12: Intercambio de aire recuperador de calor invierno + freecooling

5.2.1.3. Eficiencia del recuperador:

Para conocer la eficiencia de un recuperador de calor aire-aire, primero se debe conocer la energía que el componente es capaz de recuperar. Según el RITE:

$$E = m_{EXT}\Delta ht$$

Donde:

E: energía que es capaz de recuperar un recuperador de calor

m_{ext}: caudal másico

Δh: la diferencia de entalpía del aire entre la entrada y la salida en el recuperador

t: el tiempo que este está en marcha

La eficiencia (ε) de cualquier recuperador la obtendremos al dividir la cantidad de energía recuperada entre la cantidad máxima de energía recuperable.

ε = Cantidad de energía recuperada / Cantidad máxima de energía recuperable.

Y el ahorro obtenido:

$$\text{Ahorro} = \varepsilon m_{EXT}Cp\Delta T$$

5.2.1.4. Pretratamiento del aire de entrada:

Algunos equipos disponen de versiones o accesorios de baterías de calentamiento o enfriamiento del aire de aportación. Las opciones más habituales son las siguientes:



Ilustración 13: Pretratamiento del aire de entrada

5.2.2. Sistema BY-PASS

El by-pass es un dispositivo que desvía el caudal de aire y evita que pase a través del recuperador de calor y el intercambio térmico de la unidad

Los recuperadores con by-pass llevan instalados un sistema de detección de la estación del año con el fin de evitar la apertura del by-pass en pleno invierno. El sistema se adapta automáticamente a las variaciones de la temperatura exterior.

Ventajas del uso de by-pass:

- Enfriamiento rápido del aire del local (freecooling). Permite enfriar el local rápidamente cuando la temperatura del local es demasiado alta y la exterior es más adecuada a la necesidad.
- Protección contra congelación (sólo en intercambiadores de placas). Disminuye el riesgo de congelación en invierno.

- En los equipos con intercambiador rotativo la función del BY-PASS se consigue mediante el paro del giro del rotor.
- En los equipos con intercambiadores de placas, el BY-PASS es un circuito alternativo al paso por el mismo

5.2.3. Ventiladores → caudal de aire constante

Las instalaciones de ventilación mecánica de doble flujo cuentan con dos motores de ventilador, uno que aporta aire nuevo, y el otro para la extracción del aire viciado del interior. Si los caudales de aire de estos dos ventiladores no son idénticos (ventilación equilibrada), las pérdidas de energía, debidas a la sobrepresión o depresión del local, serán inmediatas, y no se obtendrá el rendimiento térmico, ni del alojamiento ni de la ventilación mecánica de doble flujo.

Los ventiladores que permiten una ventilación equilibrada son los que aseguran un caudal de aire constante y no se regulan según su velocidad, sino que funcionan según el caudal de aire que sea necesario impulsar o extraer.

Si la resistencia del aire aumenta, el motor del ventilador girará automáticamente a más velocidad con el objetivo de obtener siempre la misma cantidad de aire predefinido, independientemente del aumento de pérdida de carga y viceversa en caso de reducción de la resistencia al aire. Los ventiladores con caudales constantes su velocidad de rotación, con el fin de garantizar en todas las circunstancias que el caudal de aire sigue siendo idéntico y que la calidad del aire interior sigue siendo óptima.

Tipos de motor que pueden llevar los ventiladores de los equipos:

- AC: Motores convencionales de alta eficiencia. Pueden disponer de varias velocidades o regulación de velocidad según modelos o accesorios.
- EC: Motores de mayor eficiencia con capacidad de regulación proporcional.

5.2.4. Filtros

La calidad del aire exterior aportado al interior del edificio debe cumplir con los requisitos del RITE. Para cumplir la normativa se va a hacer una distinción entre IDA (calidad de aire interior) Y ODA (calidad de aire exterior), de esta forma una vez que tengamos identificada la calidad de aire de nuestros flujos, podremos seleccionar que tipo de filtros requiere nuestro recuperador.

IDA:

- IDA 1: Aire de óptima calidad → Aplicación: hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2: Aire de buena calidad → Aplicación: oficinas, residencias, locales comunes en hoteles, aulas, piscinas, museos y locales de similares características.
- IDA 3: Aire de calidad media → Aplicación: edificios comerciales, cines, teatros, auditorios, habitaciones de hoteles, restaurantes, cafeterías, bares, gimnasios y locales de similares características.
- IDA 4: Aire de calidad baja

ODA:

- ODA 1: Aire puro que puede contener partículas sólidas de forma temporal.
- ODA 2: Aire con altas concentraciones de partículas.
- ODA 3: Aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.

Para cumplir con la normativa es necesario el uso de filtros que retienen las partículas que afectan a la calidad de aire. Estos deben reemplazarse tras un periodo de uso ya que la pérdida de carga de los filtros aumenta progresivamente.

Calidad del aire exterior	Calidad del aire interior			
	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F5
ODA 2	F7+F9	F6+F8	F5+F7	F5+F6
ODA 3	F7+GF*+F9	F7+GF*+F9	F5+F7	F5+F6

(*) GF: Filtro de gas (filtro de carbono) y, o filtro químico o físico-químico (fotocatalítico) y solo serán necesarios en caso de que la ODA 3 se alcance por exceso de gases

Ilustración 14: Filtros de aire exigidos por el RITE (Sodeca)

En algunos equipos se dispone de elementos de control de pérdida de carga, con el fin de optimizar el reemplazo de los filtros.

- Tomas de presión: Pequeñas tomas de aire que permiten detectar la pérdida de carga de las etapas filtrantes.
- Manómetro diferencial: Detección visual de la pérdida de carga por etapa filtrante.
- Presostato: Interruptor de presión que con muta un circuito eléctrico según la lectura de la pérdida de carga de los filtros

Cada etapa de filtración dispone de uno o más filtros de la misma eficacia, según las necesidades de cada aplicación. Los equipos según su configuración pueden incorporar:

- Etapa con prefiltros que garantizan el buen funcionamiento del equipo, según exigencias de la instalación, las eficiencias podrán ser: G4, F6, F7.
- Etapas con filtros finales que aseguran la calidad del aire de aportación al local, las eficacias suelen ser tipo: F6, F7, F8, F9, CA (De gases de carbón activo)
- incluso HEPA, según la categoría de IDA/ODA.

En la siguiente figura podemos ver de forma esquemática la colocación de los filtros y a que flujos de aire afecta:

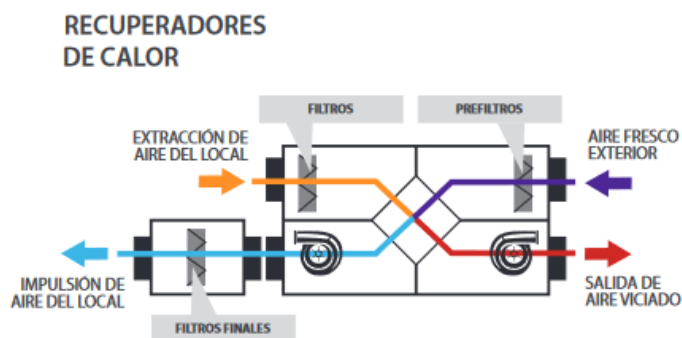


Ilustración 15: Esquema recuperador + Filtros (Sodeca)

5.2.5. Conductos

Los conductos forman las redes de distribución del aire a cada estancia. La distribución del aire se puede hacer de varias formas:

5.2.5.1. Sistema de distribución en Estrella

La distribución se realiza a través de un plenum (el diseño de esta cámara tiene como resultado que la presión del gas introducido se reparte de igual manera en toda la superficie interna: El aire se reparte a todo el interior de dicho volumen, permitiendo que cualquier tipo de salida o arranque desde este espacio se produzcan a una misma presión) que reparte el aire a cada habitación con redes independientes.

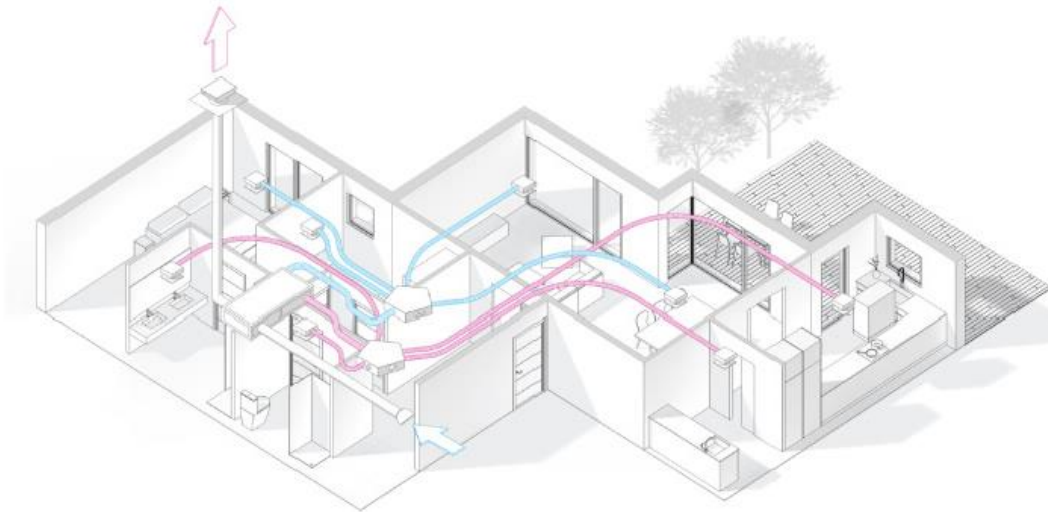


Ilustración 16: Sistema de distribución en estrella (Soler & Palau)

5.2.5.2. Sistema de distribución en Árbol

La red de conductos se ramifica mediante accesorios para llegar a cada habitación.

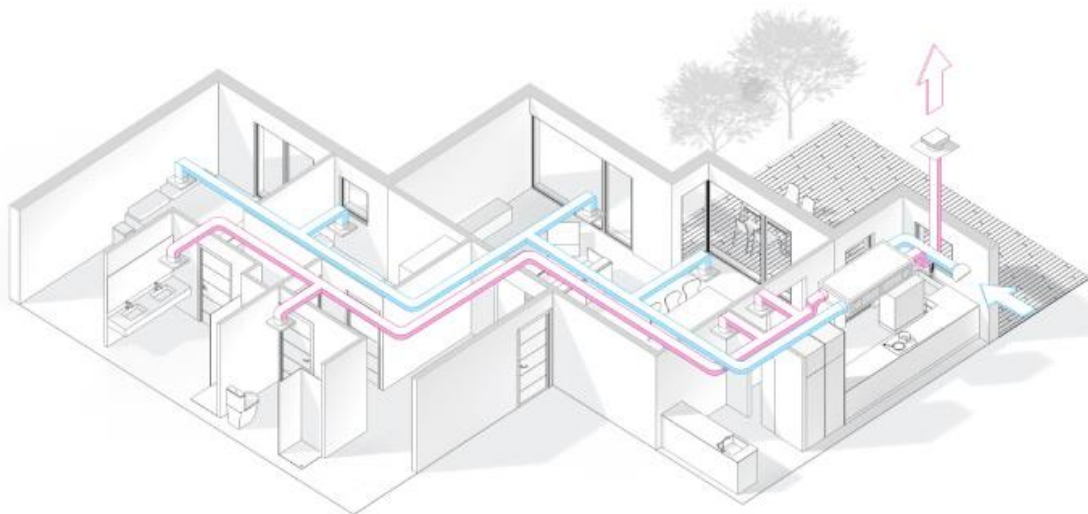


Ilustración 17: Sistema de distribución en árbol (Soler & Palau)

5.2.6. Módulo de control automático

En los recuperadores, el control automático puede aportar una gran variedad de funciones según series o modelos de equipos, las más significativas son:

- Programación horaria.
- Número de velocidades y posibilidad de regulación de velocidad variable (VSD).
- Control de caudal según niveles de CO₂ o presión de aire en conducto mediante una sonda.
- Conexión del equipo a un sistema de control centralizado (BMS), habitualmente mediante protocolo MODBUS RTU. Además, puede incluir control de batería de agua y batería eléctrica.

En el caso de las unidades de filtración, se dispone de:

- Manómetros y presostatos que permiten detectar la necesidad de reemplazo de los filtros
- Accesorios que regulan el ventilador para estabilizar el caudal y aumentar la vida de los filtros.



Ilustración 18: Elementos control automático de un recuperador

5.2.7. Módulo adiabático

El proceso de enfriamiento adiabático o enfriamiento evaporativo, se usa principalmente en procesos industriales, aunque también tiene su uso para sistemas de climatización de edificios. Analizando los distintos fabricantes de recuperadores de calor, el módulo adiabático no se utiliza en viviendas unifamiliares, sino en sistemas con caudales de aire más elevados.

El enfriamiento adiabático es un proceso físico mediante el cual se produce el enfriamiento del aire mediante la evaporación de agua previamente añadida. Para conseguir la evaporación de agua en la corriente de aire, lo más habitual es la pulverización directa de microgotas de agua o vapor, existiendo otros sistemas alternativos como el uso de paneles húmedos que son atravesados por la corriente de aire. Este hecho provoca una disminución de la temperatura seca del aire y un aumento de la humedad absoluta y relativa.

Los procesos de enfriamiento adiabático en climatización pueden encontrarse aplicados al aire de aportación, lo que se denomina enfriamiento adiabático directo, o bien aplicados a sistemas de doble flujo con recuperador de calor, enfriando el aire de extracción previamente a su paso por el intercambiador de calor, en tal caso se denomina enfriamiento adiabático indirecto. En nuestros casos de estudio nos quedaremos con este último caso.

El consumo de energía de estos sistemas es muy bajo, ya que solo existe consumo en los ventiladores utilizados para el trasiego del aire, y de las pequeñas bombas necesarias para recircular el agua de refrigeración. Por el contrario, en los sistemas de climatización convencionales el enfriamiento se basa en el uso de máquinas frigoríficas compuestas de compresores frigoríficos lo que conlleva un elevado consumo de energía eléctrica.

El proceso de enfriamiento adiabático permite conseguir enfriamientos del aire entre 2 °C y 10 °C. No obstante, el enfriamiento producido con un sistema adiabático depende de las condiciones higrométricas del aire y de la temperatura del agua.

El parámetro más limitante es la humedad relativa del aire a enfriar. Cuanto mayor sea la humedad relativa del aire de entrada, menor será el potencial de enfriamiento del sistema. Por ese motivo, el funcionamiento idóneo de este tipo de sistemas de climatización se da en zonas secas y con altas temperaturas, normalmente, las más alejadas de la costa.

El único riesgo para la seguridad reside en controlar que no se produzca una proliferación de legionela. Esta bacteria produce la infección en los humanos cuando el agua contaminada se pulveriza en forma de aerosol. Esto puede controlarse de forma sencilla mediante un simple proceso de cloración del agua y adición de otras sustancias específicas además de un elevado control del mantenimiento de los equipos. En los ejemplos estudiados, al utilizarse el módulo adiabático para enfriar el aire de extracción previo al paso por el recuperador, no debemos preocuparnos de riesgos como la legionela al ventilar ya que el aire va a ser expulsado a la calle tras usarse para enfriar el nuevo aire de ventilación. [4]

5.3. Ventajas de la Ventilación de Doble Flujo

Tradicionalmente, a la hora de ventilar y sustituir el aire del interior de una vivienda o edificio se suele recurrir al **aire acondicionado** o directamente a **la ventilación natural**, especialmente en los meses de verano.

En el caso del aire acondicionado, existen 2 elementos principales que desaconsejan su uso:

- **Consumo Energético:** el aire acondicionado necesita una cantidad elevada de energía para su funcionamiento, y en la actualidad, no es recomendable debido a cuestiones del CO₂ y su influencia en el cambio climático.
- **Regulación del aire y temperatura:** frente a la ventilación de doble flujo, el aire acondicionado posee menos medios para configurar el modo de ventilación y la temperatura del aire según las condiciones térmicas del interior de la vivienda o edificio.

Por otro lado, la ventilación natural presenta varios problemas:

- Al abrir las ventanas, la energía generada para calentar o enfriar el interior de la vivienda se desperdicia.
- En zonas donde la contaminación es más elevada de lo habitual, se está introduciendo un aire contaminado al interior.
- En zonas ruidosas, se puede llegar a generar incomodidad acústica.
- La ventilación no es continua, por lo que la regeneración del aire dura muy poco tiempo.

Es por esto, que los sistemas de ventilación de doble flujo se adaptan más a nuestras necesidades, presentando una serie de características y ventajas únicas.

- **Eficiencia Energética:** con un intercambio térmico entre los flujos del aire en el interior de un intercambiador, el aire se calienta o se enfría sin tener un consumo extra de energía, ahorrando de esta forma energía en la climatización.
- **Aire más limpio:** gracias a los filtros del aire por los que está constituido el sistema, se podrá disfrutar de un aire más limpio y también evitar las molestias respiratorias que se puedan sufrir.
- **Aire Climatizado:** se introducirá el aire climatizado gracias a la unidad recuperadora de calor. Con el intercambiador se facilita la cesión de temperatura del aire viciado del interior al aire que entra del exterior del edificio. Así, se calienta el aire y climatizamos la estancia, siendo a la inversa en verano.

En el caso del invierno, el aire cálido del interior se expulsa y se introduce aire frío del exterior, perdiendo una cantidad insignificante de energía.

- **No aire acondicionado:** con el uso de la ventilación de doble flujo se evitan los sistemas de combustión o de aire acondicionado, ahorrando en energía, y, por consiguiente, en la factura de la luz.
- **Consumo mínimo:** este sistema tiene un gasto igual al del *standby* de un televisor, por lo que el consumo energético es mínimo.

Además, si el sistema de ventilación de doble flujo es independiente, se evitan los problemas de ruidos y acústica, ya que se ubicaría en el exterior de la vivienda, pudiendo lograr conseguir un buen confort en el hogar. [5]

5.4. Optimización de la Ventilación de Doble Flujo

Diferentes factores tienen que tenerse en cuenta para conseguir el excelente funcionamiento de un sistema de ventilación de doble flujo.

El primero es la ubicación del sistema, ya que puede generar ruidos no deseables, siendo un sistema que funciona las 24 horas del día y los 365 días del año.

La unidad recuperadora de calor del sistema de doble flujo se tiene que montar en una zona calefactada, de esta forma, se evitan las pérdidas energéticas. El problema que genera son los ventiladores de extracción y los ventiladores de introducción, los cuales pueden generar ruidos molestos en la vivienda.

Para solucionar esta problemática, se debe de buscar una zona para los ventiladores y el recuperador de calor la cual elimine o disminuya el ruido generado. El sistema que mejor se adapta para conseguir este objetivo es el sistema independiente, ubicando la unidad de calor en una zona calefactada, y los ventiladores en zonas donde no molesten. Estos sistemas, al poder instalarse la unidad recuperadora de calor en una zona climatizada, hacen que se eviten posibles pérdidas de energía gracias a las diferencias de temperatura entre el clima del interior y el clima del exterior.

Además, los sistemas de ventilación de doble flujo independientes cuentan con la ventaja de la instalación de los ventiladores, pudiendo instalarse en zonas no habitables, como las buhardillas o los sótanos.

Así, al ubicarse los ventiladores fuera de la vivienda o lugares transcurridos, se evitan los ruidos y problemas de acústica. [5]

6 FREECOOLING

6.1. Introducción

El Freecooling o enfriamiento gratuito es una técnica que consiste en aprovechar las bajas temperaturas exteriores para enfriar una estancia o local por medios mecánicos y controlados. Es un sistema que aprovecha muchas ventajas de la ventilación natural y elimina gran parte de sus inconvenientes.

Además de un ahorro económico, el freecooling supone una mejora de la calidad del aire interior de los edificios, pues al emplear aire frío del exterior para disipar las cargas del interior de los recintos se incrementa el caudal de aire exterior (mayor renovación del aire).

Las unidades de tratamiento de aire han de estar equipadas con los adecuados sistemas de compuertas, ventiladores y control, imprescindibles para poder realizar un control y seguimiento de la instalación.

Un sistema free cooling a través de un control adecuado debe posibilitar seleccionar las diferentes situaciones de cargas internas y climáticas que se pueden desarrollar, de manera que se pueda actuar sobre las compuertas de aire y los equipos. Así se podrá conseguir que el aire de impulsión alcance las condiciones de humedad y temperatura adecuadas con el menor coste energético posible.

Los sistemas de Freecooling son de fácil aplicación integrados en sistemas de climatización en los que se requiere refrigeración mecánica o en sistemas de doble flujo. De hecho, la normativa europea, exige que los equipos que consumen más de 30W por motor dispongan de by-pass. En el caso residencial, su aplicación es menos efectiva puesto que los caudales pequeños de aire no permiten modificar de una manera sensible la temperatura interior.

6.2. Principio de funcionamiento

Si la entalpía del aire exterior (o la temperatura, según el sistema de control empleado) es menor que la entalpía o temperatura del aire del local, es más eficiente emplear aire exterior en lugar de hacer recircular aire de retorno del propio local (sistema de climatización convencional).

Según el control utilizado, existen tres tipos de sistemas:

- De enfriamiento gratuito por control de entalpía puro.
- De enfriamiento gratuito por control de temperatura seca.
- De enfriamiento gratuito por control de entalpía mejorado.

Durante el funcionamiento del sistema pueden darse tres situaciones distintas [6]:

- La temperatura del aire exterior es menor que la temperatura del aire de impulsión. En este caso el sistema regula las compuertas hasta lograr una mezcla de aire exterior y aire de retorno con la temperatura de refrigeración deseada. Así obtenemos refrigeración de forma gratuita.
- La temperatura del aire exterior es mayor que la temperatura del aire de impulsión, pero menor que la temperatura del aire de retorno del local. En esta situación el sistema de frío debe trabajar hasta rebajar la temperatura exterior hasta alcanzar la temperatura de impulsión.
- La temperatura del aire exterior es mayor que la temperatura de retorno del local. Si se quiere refrigerar la estancia se tendrá que poner en funcionamiento el sistema de aire acondicionado convencional.

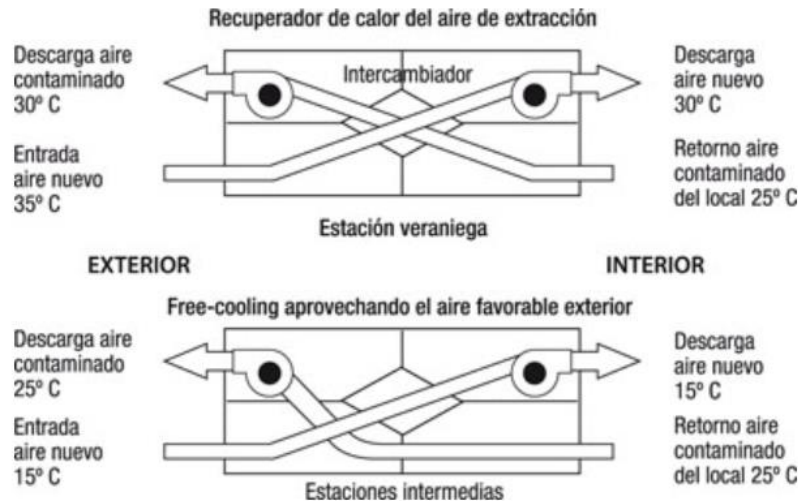


Ilustración 19: Funcionamiento sistema freecooling

6.3. Tipos de Freecooling

Podríamos clasificar los distintos tipos de freecooling en dos grandes grupos:

- **Free cooling directo:** se introduce aire exterior directamente al local cuando las condiciones son propicias para refrigerarlo.
- **Free cooling indirecto:** Se emplea un fluido intermedio para intercambiar energía con el aire exterior y de esta manera refrigerar el local sin introducción de aire exterior.

Es necesario tener en cuenta que la introducción de un intercambio energético conlleva unas pérdidas de energía que irán determinadas por el equipo y sistemas empleados.

6.4. Selección de sistema de Freecooling

Condiciones climáticas: de forma generalizada se podría decir que, para ubicaciones secas, el freecooling directo se postularía como la mejor opción y por el contrario para localidades húmedas, los sistemas de freecooling indirecto podrían recuperar la diferencia de eficiencia respecto a sistemas directos con mayor número de horas de funcionamiento.

Características de la instalación: otro factor a tener en cuenta son las características de cada sistema y donde se va a implementar.

Un ejemplo de ello, para refrigerar una potencia dada, las instalaciones de free cooling a través de aire (ya sea directo o indirecto) deben suministrar un gran caudal de aire exterior y por tanto supone una sección de conductos de impulsión y extracción considerable, mientras que con una instalación de freecooling indirecto a través de agua, la sección de las tuberías de impulsión y retorno será muy inferior debido al poder calorífico del agua en relación al aire.

Este factor nos hará decidirnos por una instalación de freecooling indirecto a través de agua cuando no dispongamos de patinillos o pasos de conductos suficientes para plantear un freecooling por aire.

6.5. Elementos que componen el sistema de Freecooling

Se compone de un sistema con tres compuertas de aire situadas de forma que la compuerta de aire de retorno se encuentra en serie con los ventiladores de aire tanto de retorno como de impulsión. Las otras dos compuertas, en cambio, se encuentran paralelas (la compuerta de expulsión se sitúa en el circuito del ventilador de retorno y la compuerta de aire exterior, en el circuito del ventilador de impulsión). [7]

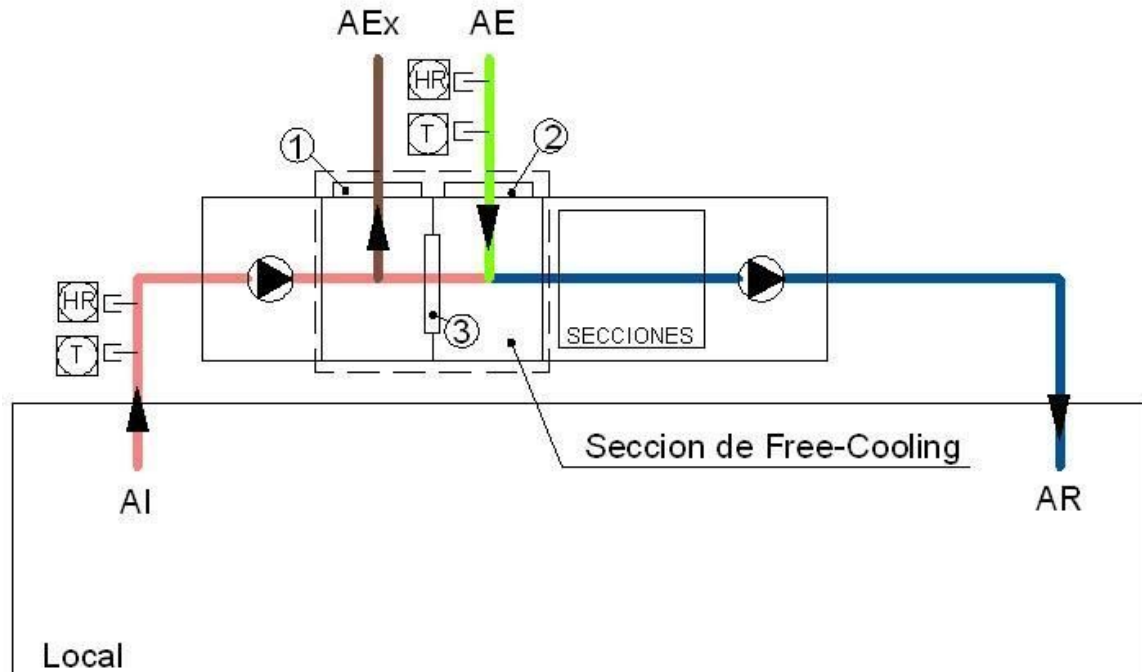


Ilustración 20: Sistema freecooling

Leyenda:

- (1) Compuerta de Expulsión de aire
- (2) Compuerta de Toma de Aire Exterior
- (3) Compuerta de By-Pass

Funcionamiento de un sistema de Free Cooling:

En condiciones extremas (verano), la compuerta de retorno de aire (3) permanece abierta al máximo mientras que las compuertas (1) y (2) se cierran para asegurar un mínimo caudal de aire de renovación. Hay que hacer notar que la posición mínima de las compuertas (1) y (2) será aquella que asegure el caudal mínimo de Aire Exterior en el edificio de acuerdo a lo establecido por normativa.

Cuando las condiciones del aire exterior (AE) son adecuadas, se abren las compuertas (1) y (2) y se cierra la compuerta de by-pass (3). Por condiciones adecuadas, se entiende aquellas en las que la energía (sensible o total dependiendo qué si sólo tenemos opción de controlar la temperatura o temperatura y humedad) sea menor que la del local.

Las compuertas (1) y (2) están enclavadas de manera que cuando una abre también abre en la misma proporción y viceversa. Asimismo, y en esa misma medida la compuerta (3) también ha de estar enclavada de manera que cuanto más abre la compuerta (1) y (2), la compuerta (3) se cierra.

6.6. Ventajas de los sistemas de Freecooling

Según el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios, incluir subsistemas de free cooling es obligatorio en todos los sistemas de climatización todo aire de potencia útil nominal mayor que 70 kW en régimen de frío. Esto es porque se trata de una forma de refrigeración natural muy eficiente. [8]

- Permite un ahorro considerable en cuanto a consumo energético.
- Reduce la cantidad de emisiones de CO₂ a la atmósfera contribuyendo así a la preservación del medio ambiente lo cual supone una ventaja competitiva frente a otros sistemas a nivel medioambiental.
- Permite aprovechar el sistema de distribución por rejillas existente y realizar una distribución homogénea del aire exterior como parte de un sistema de climatización.
- Permite una ventilación efectiva del espacio al mismo tiempo que lo refrigera.
- Si se programa como refrigeración nocturna, permite eliminar el calor remanente (reducir las cargas térmicas) del interior del edificio que captan paredes y mobiliario en forma de radiación.
- Mejora la calidad del aire interior de los edificios.

6.7. Desventajas de los sistemas de Freecooling

Principales desventajas [6]:

- Requiere el uso ventiladores, compuertas, filtros y un sistema completo de acondicionamiento y distribución de aire.
- Requiere de un consumo de energía eléctrica (uso de ventiladores).
- El éxito del sistema depende en gran medida del sistema de control utilizado para gestionar la entrada del aire exterior cuando sea necesario, sin que afecte al confort y produciendo los ahorros deseados.

6.8. Dimensionado de la instalación

Una vez determinado el sistema de freecooling que mayor rendimiento nos va a ofrecer, hay que realizar el diseño de detalle de la solución, teniendo en cuenta las características específicas del proyecto.

La simulación energética nos habrá obligado previamente a realizar un diseño preliminar, pero este es el momento en el que hay que tener en cuenta las dimensiones y tamaños de los equipos, tuberías, conductos, selección de ventiladores, bombas, equipos de producción, transporte y unidades terminales, que vendrán fijadas por la potencia disipada por los equipos y el resto de los elementos de la instalación.

Además, se debe definir un sistema de control acorde con los requerimientos de este tipo de sistemas, capaz de regular la instalación en función de la demanda interna de potencia y las condiciones climatológicas exteriores, seleccionando en todo momento el modo de funcionamiento más eficiente.

7 ESTIMACIÓN COSTES RECUPERADOR DE CALOR

El elemento más importante a nivel de costes de una instalación de ventilación, es el recuperador de calor por lo que se ha realizado de forma independiente un estudio de los modelos que hay actualmente en el mercado.

Este análisis pretende obtener unas ecuaciones que nos sirvan para estimar el precio del recuperador en función del caudal de aire que se necesite introducir en las viviendas o edificios.

Para establecer un patrón válido, se han seleccionado una muestra de recuperadores con unas características similares:

- Eficiencia superior al 75%, llegando en varios modelos a eficiencias por encima del 90%.
- Nivel sonoro adecuado para el uso doméstico
- Control del aire de ventilación introducido mediante la regulación de la velocidad de los ventiladores.
- Equipados con by-pass.

Para este estudio, se ha extraído la información de los catálogos de los siguientes fabricantes:

- Salvador Escoda
- Siber
- Aldes
- Daikin
- Tecna
- Luymar
- Soler & Palau

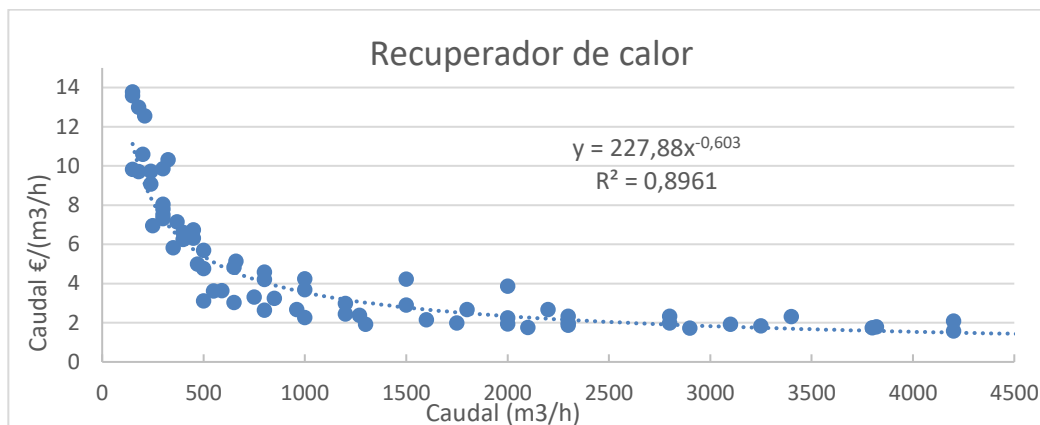
En total se han analizado 16 modelos de recuperadores, y un total de 90 equipos. La información obtenida nos ha servido para realizar una curva en la que podemos obtener una estimación del precio total del recuperador en función de los m^3/h y otra en la que podemos realizar un cálculo del coste en euros por m^3/h .

7.1. Análisis en €/m³/h

En este caso, se ha representado el coste en euros de cada m³/h frente al caudal máximo de cada recuperador estudiado. Se comprueba que el coste se estabiliza en torno a los 2€ para los recuperadores cuyo caudal es superior a los 1000 m³/h, siendo el coste más elevado en los de uso doméstico o viviendas unifamiliares.

La línea de tendencia que más se ajustaba a los valores obtenidos se corresponde con una potencial cuyos parámetros son los siguientes:

$$y = 227,88x^{-0,603}$$
$$R^2 = 0,8961$$



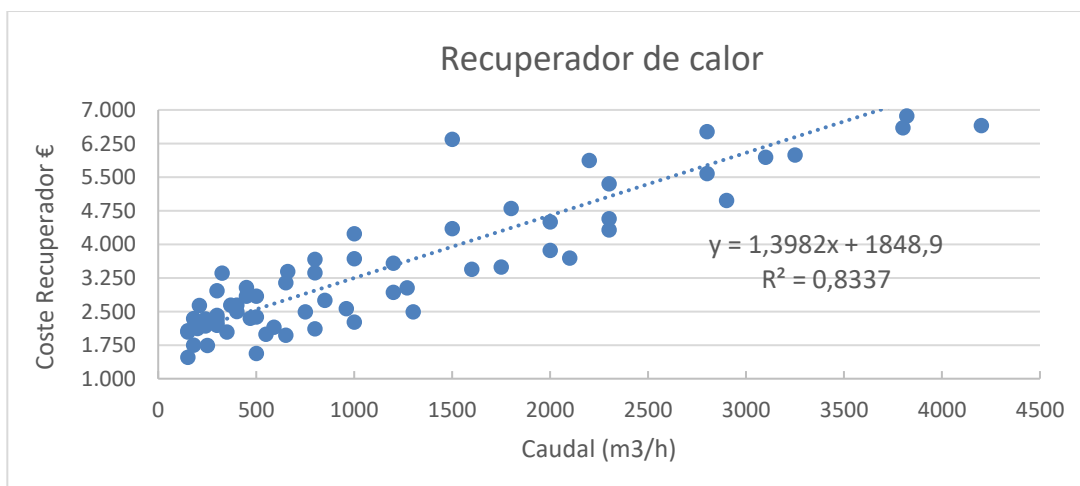
Gráfica 1: Coste en €/m³/h del recuperador

7.2. Análisis del coste total del recuperador:

Con la información obtenida, hemos establecido una gráfica que nos permita estimar el precio del recuperador en función de los m³/h que necesitemos introducir para cubrir la demanda de ventilación. Como podemos observar ha sido más complicado en este caso obtener la línea de tendencia, debido a que en recuperadores con caudales más pequeños el precio es bastante dependiente del modelo y del fabricante, así como los extras que incluyen.

La línea de tendencia con la que se obtuvo un mejor ajuste era la lineal:

$$y = 1,3982x + 1848,9$$
$$R^2 = 0,8337$$



Gráfica 2: Coste total recuperador de calor

8 CASO PRÁCTICO: VIVIENDA UNIFAMILIAR

En el anterior apartado se ha hecho un estudio independiente del coste del recuperador, en esta ocasión y partiendo de las tarifas del catálogo del 2021 de Tecna, vamos a estudiar el coste completo de una instalación de doble flujo con recuperador de calor y una instalación de extracción simple.

8.1. Instalación de doble flujo

Con los resultados obtenidos, se pretende estimar el peso que tiene el recuperador en una instalación de ventilación de esta manera podremos realizar una estimación aproximada del coste de la instalación a partir del coste del recuperador (usando las ecuaciones obtenidas).

El estudio se va a realizar para dos tipos de instalaciones y configuraciones:

- Conducto rígido → configuración en árbol
- Conducto flexible → configuración en estrella

La distribución de las viviendas modelo analizadas son las siguientes:

- Caso 1: Salón + Cocina + Baño + 1 Dormitorio
- Caso 2: Salón + Cocina + Baño + 2 Dormitorios
- Caso 3: Salón + Cocina + 2 Baños + 2 Dormitorios
- Caso 4: Salón + Cocina + 2 Baños + 3 Dormitorios
- Caso 5: Salón + Cocina + 2/3 Baños + 4 Dormitorios
- Caso 6: Salón + Cocina + 2/3 Baños + 5 Dormitorios

Vamos a estimar la instalación de doble flujo siguiendo las ciertas pautas, se va a impulsar aire de ventilación en el salón y en los dormitorios, y se va a extraer el aire de las zonas húmedas como lo son la cocina y los baños.

8.1.1 Esquema de distribución en árbol, conducto rígido

El diseño de la impulsión y la extracción de los conductos de la instalación, va a seguir el siguiente esquema:

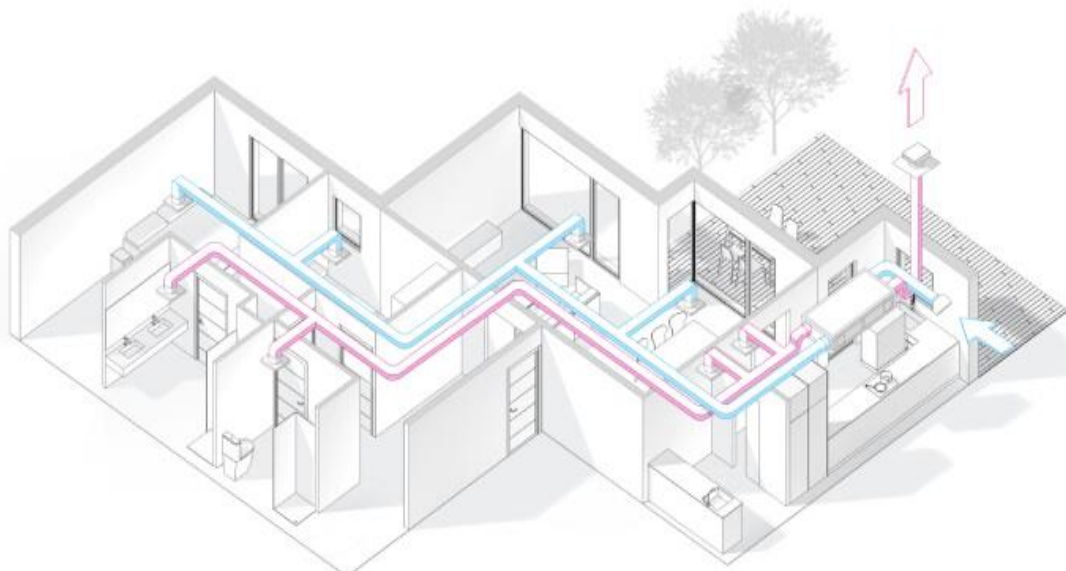


Ilustración 21: Distribución en árbol, conducto rígido

De forma más detallada podemos ver los elementos que componen el sistema de ventilación y el tipo de conexiones, bocas de extracción y de rejillas de impulsión que se conectan con el recuperador:

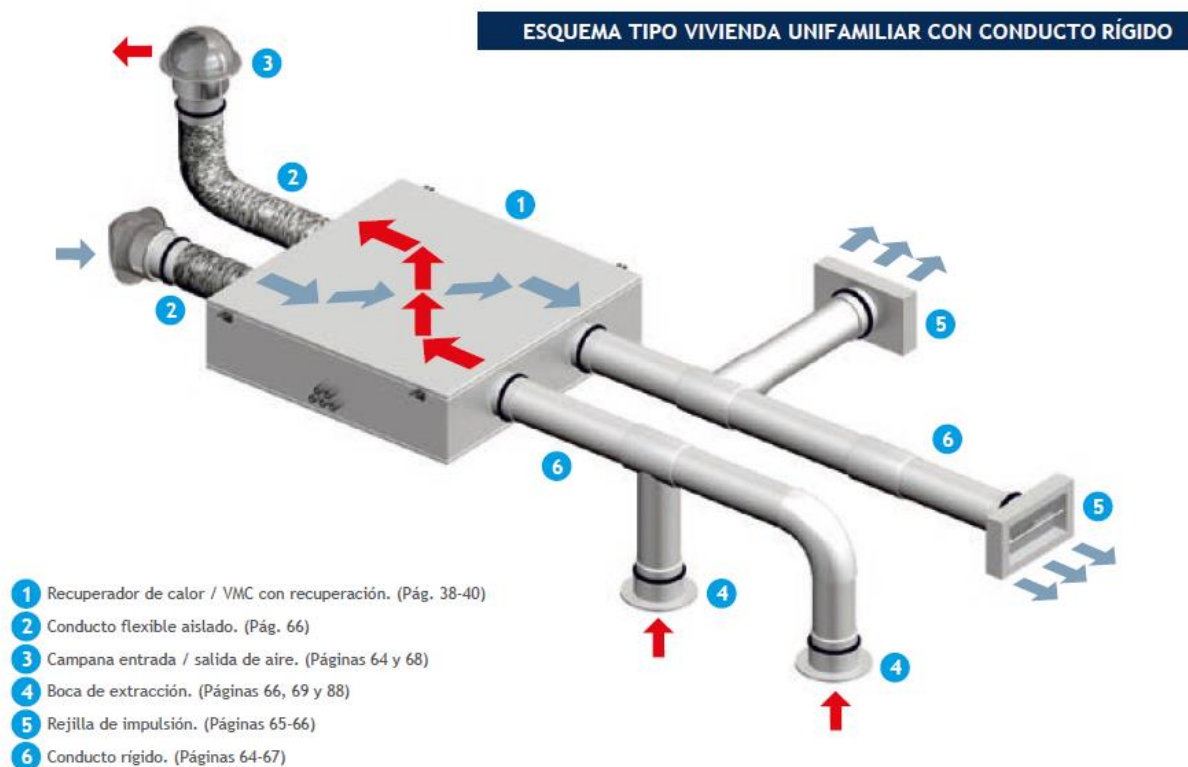


Ilustración 22: Esquema recuperador en instalación de conductos rígidos

El estudio detallado de los costes de la instalación y el desglose de los componentes de la instalación puede consultarse en el Anexo A, a modo de resumen, se presentan los resultados en la siguiente tabla. Se ha realizado un desglose entre los accesorios necesarios para la impulsión, la extracción y el recuperador de calor.

En la última columna, podemos ver el peso del recuperador sobre la instalación de ventilación, Los resultados señalados, son los que vamos a utilizar para estimar el peso del recuperador sobre el total de la instalación debido a que sus prestaciones son las que más nos interesan y más si alinean con el objetivo de este proyecto.

Vivienda	(1) RECUPERADOR DE CALOR		PRESUPUESTO						CONCLUSIONES
CASO	Modelo	Eficiencia del recuperador	Recuperador	Conducto flexible	Conducto rígido	Acc. extracción	Acc. impulsión	TOTAL	% Recuperador del total
1	ENY SHP 130 SLIM (Qmáx 130- Qnom 90)	88	1490	14,48	51,2	28,28	33,17	1617,13	92,14
	VUE 100P Mini H (Qmax 100)	77	510					637,13	80,05
2	KOMFORT VUE 150 P3B EC/A14 (Qmax - 150)	94	1500	14,48	66,56	28,28	47,41	1656,73	90,54
	KOMFORT BASIC VUE 150 P3 (Qmax - 150)	88	997					1153,73	86,42
3	KOMFORT VUE 150 P3B EC/A14 (Qmax - 150)	94	1500	14,48	87,04	41,02	47,41	1692,95	88,60
	KOMFORT BASIC VUE 150 P3 (Qmax - 150)	88	997					1186,95	84,00
4	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	19,9	138,22	74,41	61,65	1894,18	84,47
	VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712					1006,18	70,76
5	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	19,9	164,84	98,28	75,89	1958,91	81,68
	VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712					1070,91	66,49
6	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	19,9	183,27	98,28	90,13	1991,58	80,34
	VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712					1103,58	64,52
	VENTILPLUS LC QFA-D350M-F (Qmax 350)	77	900					1291,58	69,68

Tabla 1: Caso práctico: vivienda unifamiliar conductos rígidos

8.1.2 Esquema de distribución en estrella, conducto flexible

En este caso, el diseño de la impulsión y la extracción de los conductos de la instalación, va a seguir el siguiente esquema:

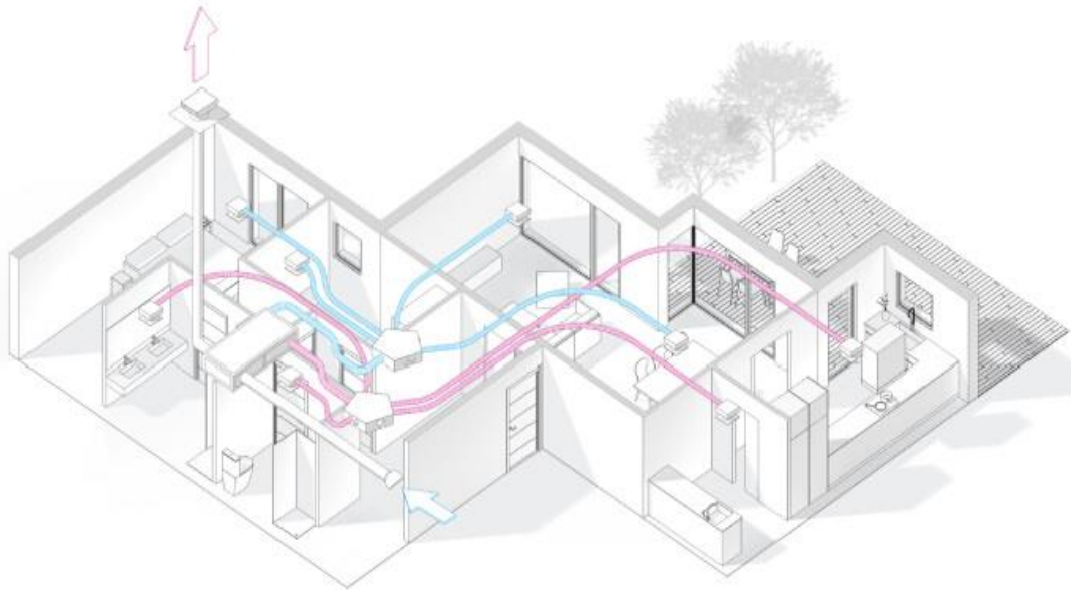


Ilustración 23: Distribución en estrella, conducto flexible

De forma más detallada podemos ver los elementos que componen el sistema de ventilación y el tipo de conexiones, bocas de extracción y de rejillas de impulsión que se conectan con el recuperador:

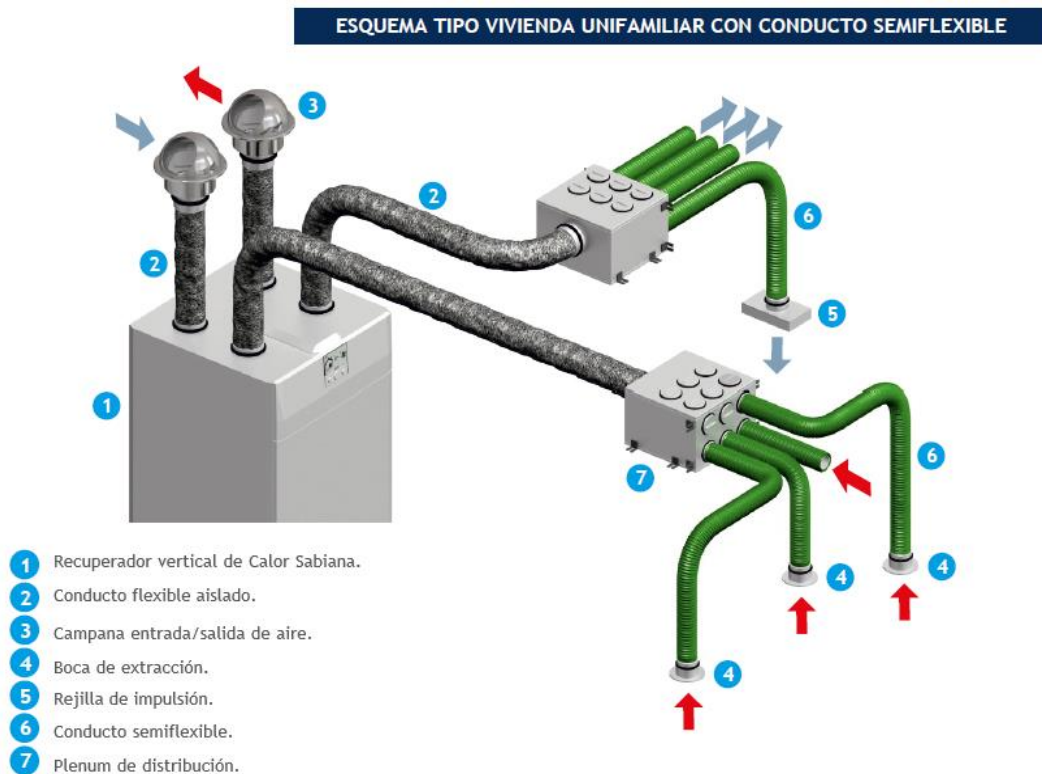


Ilustración 23: Esquema recuperador en instalación de conductos flexibles

El estudio detallado de los costes de la instalación y el desglose de los componentes de la instalación puede consultarse en el Anexo B. Para esta distribución es importante considerar el coste del plenum de distribución.

RECUPERADOR DE CALOR		PRESUPUESTO					CONCLUSIONES	
CASO	Modelo	EFICIENCIA RECUPERADOR %	Recuperador	Conducto flexible	Accesorios extraccion	Accesorios Impulsion	TOTAL	% Recuperador del total
1	ENY SHP 130 SLIM (Qmáx 130 - Qnom 90)	88	1490	174,48	124,84	131,44	1920,76	77,57
	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)		1850				2280,76	81,11
2	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)	92	1850	174,48	187,26	197,16	2408,9	76,80
	ENY-SP 180 PRO (Qmáx 180 - Qnom 130)		2400				2958,9	81,11
3	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)	92	1850	174,48	187,26	197,16	2408,9	76,80
	ENY-SP 180 PRO (Qmáx 180 - Qnom 130)		2400				2958,9	81,11
4	ENY-SP 280 PRO (Qmáx 280 - Qnom 200)	92	2500	179,9	249,68	262,88	3192,46	78,31
								78,31
5	ENY-SP 280 PRO (Qmáx 280 - Qnom 200)	92	2500	179,9	249,68	328,6	3258,18	76,73
6	ENY-SP 370 PRO (Qmáx 370 - Qnom 260)	92	2640	179,9	249,68	394,32	3463,9	76,21

Tabla 2: Caso práctico: vivienda unifamiliar conductos flexibles

8.1.3 Conclusiones

Para el primer caso estudiado (diseño de la instalación de conductos rígidos), se ha utilizado una gama de recuperadores media/alta. Para el segundo caso (diseño de la instalación de conductos flexibles) se ha utilizado un modelo de gama alta especialmente diseñado para obtener una alta eficiencia energética con función de free-cooling (verano) y free-heating (invierno).

Para obtener una estimación más aproximada del peso del recuperador de calor en ambas instalaciones, además del ejemplo expuesto, se ha calculado de nuevo el resultado con la otra gama de recuperadores.

Instalaciones de conductos rígidos:

- Gama media/alta: peso medio del recuperador → 86%
- Gama alta: peso medio del recuperador → 90%

Por tanto, tras ambas simulaciones, podemos estimar el peso del recuperador en torno al 88% en una instalación de este tipo.

Instalaciones de conductos flexibles:

- Gama media/alta: peso medio del recuperador → 73%
- Gama alta: peso medio del recuperador → 79%

Por tanto, tras ambas simulaciones, podemos estimar el peso del recuperador en torno al 76% en una instalación de este tipo.

Comparando resultados, sin entrar en detalles de las ventajas y desventajas de cada tipo de instalación, es más barato un sistema de ventilación usando una distribución de conductos rígidos, el uso de los plenum incrementa el coste de la instalación.

8.2. Instalación de extracción simple o simple flujo

En el anterior caso práctico, se ha separado los costes de la impulsión y de la extracción. Se diseñó una impulsión hacia los dormitorios y el salón, y una extracción en las zonas húmedas, cocina y baños. En este caso, vamos a estimar el coste de la extracción, mediante el diseño de una instalación de simple flujo.

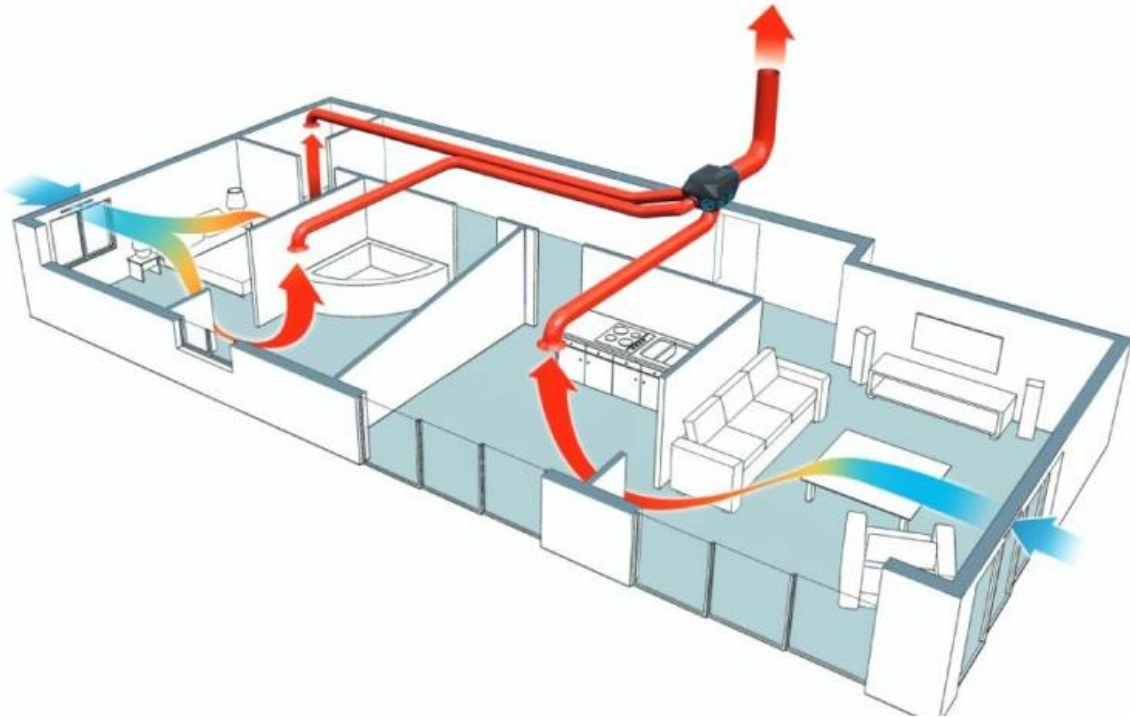


Ilustración 24: Instalación de extracción simple

Tras revisar varios proyectos de ejecución, la extracción simple se suele realizar mediante una distribución de aire por conductos rígidos, por lo que para la estimación vamos a utilizar los accesorios y componentes del primer caso práctico.

Además del primer caso, donde toda la extracción se ve focalizada en un VMC de simple flujo, pueden existir casos donde la disposición de la vivienda, no permita realizar este diseño, por lo que se ha buscado un proyecto de ejecución que implemente otro tipo de solución para analizarlo.

8.2.1. Caso 1: Estudio viviendas modelo

El objetivo es realizar una estimación del coste de la instalación de extracción en función de los metros de conductos necesarios. Esta solución se implementa mediante un VMC de simple flujo en el que todos los conductos de extracción quedan acoplados.

Los precios de los materiales y accesorios se han obtenido del catálogo de Tecna 2021, comparándolo con otros catálogos, los precios de los accesorios no presentan una variación muy significativa con respecto a otros fabricantes. Es importante tener en cuenta que no está incluido el precio de la mano de obra en estos cálculos.

Las zonas en las que se va a extraer aire son la cocina y los baños, y la red de extracción va a ser diseñada de esta forma del siguiente esquema.

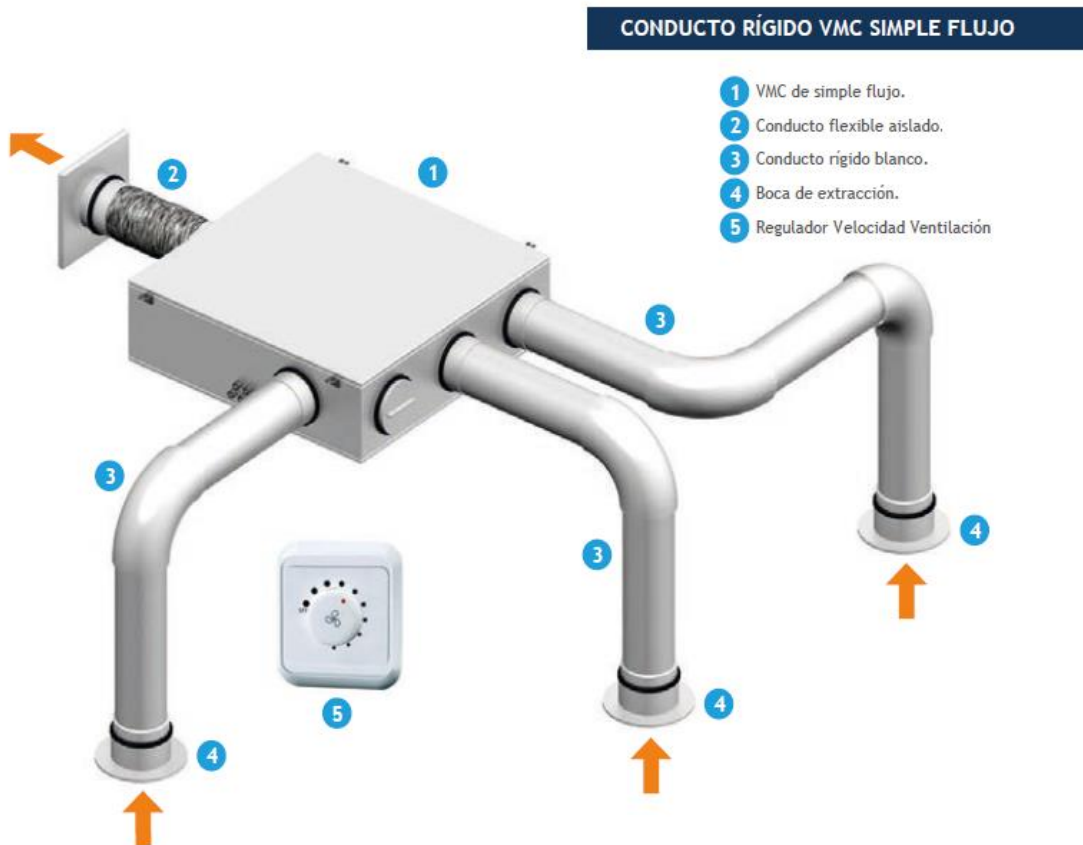


Ilustración 25: Instalación VMC extracción simple

El VMC de simple flujo está formado por:

- Caja extractora autorregulables de bocas múltiples (caudal 150m³/h). Precio 230 €
- Extractores de bocas múltiples para ventilación mecánica. Precio 146 €

Por tanto, el módulo de VMC, tendría un coste total de 376 €. Este coste, lo podemos considerar como fijo en nuestra estimación para viviendas unifamiliares ya que cubriría todo el rango de viviendas estudiados, desde 1 vivienda con un dormitorio + un baño (50 m³/h) hasta una vivienda de 5 dormitorios y 2/3 baños (122 m³/h). El regulador de velocidad viene incluido en el VMC.

En viviendas unifamiliares, debemos distinguir entre dos casos, en función del caudal de ventilación. Si el caudal es inferior o superior a 100m³/h.

8.2.1.1. Si el caudal es inferior a 100m³/h:

- Empalme Redondo D-100. Precio: 0.84 €/Ud.
- Bocas extracción A 100 VR. Precio: 3.95 €/Ud.
- Codo Redondo 90 D-100. Precio: 2.33 €/Ud.
- Abrazadera Redonda D-100. Precio: 1.22 €/Ud.
- Te tres bocas redondas D-100. Precio: 4.4 €/Ud.

Por tanto, podemos decir que el coste de los accesorios de cada boca de extracción fijo es de 12.74 €/extracción.

A estos elementos, es necesario sumarle la reducción circular necesaria, el conducto flexible que va desde el módulo VMC hasta el exterior, el conducto rígido que va desde cada boca de extracción hasta él.

- Reducción circular 125/100: Precio: 2.8€/Ud.
- Conducto flexible 125 ISODUCT. Precio: 3.62 €/m
- Conducto Tubo Redondo D-100*1500 - Precio: 5.12 €/m

8.2.1.2. Si el caudal es inferior a 100m³/h:

- Empalme Redondo D-120. Precio: 1.5 €/Ud.
- Bocas extracción A 125 VR. Precio: 4.95 €/Ud.
- Codo Redondo 90 D-120. Precio: 3.26 €/Ud.
- Abrazadera Redonda D-120. Precio: 1.61 €/Ud.
- Te tres bocas redondas D-120. Precio: 12.55 €/Ud.

Por tanto, podemos decir que el coste de los accesorios de cada boca de extracción fijo es de 23.87 €/extracción.

A estos elementos, es necesario sumarle la reducción circular necesaria, el conducto flexible que va desde el módulo VMC hasta el exterior, el conducto rígido que va desde cada boca de extracción hasta él.

- Reducción circular 150/120: Precio: 2.8€/Ud.
- Conducto flexible 160 ISODUCT. Precio: 3.98 €/m
- Conducto Tubo Redondo D-120*1500 - Precio: 8.12 €/m

8.2.1.3. Conclusiones

Podemos sacar dos ecuaciones para la estimación de una instalación de extracción simple en una vivienda:

$$X = Cf * 3.62 + Cr * 5.12 + Nex * 12.74 + 378.8 \text{ para caudales inferiores a } 100\text{m}^3/\text{h}$$

$$X = Cf * 3.98 + Cr * 8.12 + Nex * 23.87 + 378.8 \text{ para caudales superiores a } 100\text{m}^3/\text{h}$$

Siendo:

X: el coste de la instalación (sin mano de obra)

Cf: metros de conductos flexible

Cr: metros de conductos rígidos

Nex: número de extracciones necesarias (cocina y baños)

8.2.2. Caso 2: Rehabilitación Vivienda Teruel (2020)

En este caso, debido a la distribución de las viviendas (parcela con dos viviendas unidas) se ha elegido que cada extracción vaya directamente hacia la cubierta por lo que es necesario de un ventilador en cada salida.

8.2.2.1. Componentes de la instalación

- Vivienda unifamiliar 1: 4 dormitorios y 3 baños (2 en la planta baja y 1 en la planta superior)
 - Ventiladores helicocentrífugos in-line de bajo perfil TD-160/100 SILENT de S&P: 4 Uds.
 - Conducto formado por tubo helicoidal de chapa de acero galvanizada de 0,5 mm de espesor, de diámetro 125 mm. Totalmente instalado; i/p.p. de piezas de unión, piezas especiales, anclajes, fijaciones y medios auxiliares. Total: 11 m
 - Cocina pb → 3 m
 - Baño pb → 4 m
 - Baño p1 → 3 m
 - Baño p1 → 2 m
 - Rejilla de extracción de aire autorregulable: 4 Uds.

- Vivienda unifamiliar 2: 3 dormitorios y 2 baños (1 en la planta baja y 1 en la planta superior)
 - Ventiladores helicocentrífugos in-line de bajo perfil TD-160/100 SILENT de S&P: 3 Uds.
 - Conducto formado por tubo helicoidal de chapa de acero galvanizada de 0,5 mm de espesor, de diámetro 125 mm. Totalmente instalado; i/p.p. de piezas de unión, piezas especiales, anclajes, fijaciones y medios auxiliares. Total 9 m
 - Cocina pb → 3 m
 - Baño pb → 4 m
 - Baño p1 → 2 m
 - Rejilla de extracción de aire autorregulable: 3 Uds.

Para poder comparar el coste de esta solución frente a la del caso anterior, vamos a diferenciar el coste de los componentes y de la mano de obra:

- Ventiladores helicocentrífugos in-line de bajo perfil TD-160/100 SILENT de S&P
 - Coste mano de obra: 5.75 €/Ud.
 - Coste unidad: 86.37 €/Ud.
- Metro de conducto formado por tubo helicoidal + accesorios:
 - Coste mano de obra: 14.46 €/m
 - Coste unidad: 4.07 €/m
- Rejilla de extracción de aire autorregulable
 - Coste mano de obra: 3.35 €/Ud.
 - Coste unidad: 3.8 €/Ud.

8.2.2.2. Conclusiones

Del mismo modo que en el primer caso, vamos a sacar una ecuación que nos permita realizar una estimación simplificada del coste de esta solución. Es necesario tener en cuenta que esta solución tiene una bastante dependencia del ventilador elegido.

Cada extracción cuenta con una rejilla y su propio ventilador de extracción, por lo que:

$X = \text{Chel} * 4.07 + \text{Nex} * 90.17$ sin tener en cuenta el coste de la mano de obra.

$X = \text{Chel} * 18.53 + \text{Nex} * 99.27$ teniendo en cuenta el coste de la mano de obra

Vivienda 1:

- Coste de la instalación sin mano de obra: 405.45€
- Coste de la instalación con mano de obra: 600.91€

La mano de obra supone un 32.5% del coste de la instalación.

Vivienda 2:

- Coste de la instalación sin mano de obra: 307.14€
- Coste de la instalación con mano de obra: 464.58€

La mano de obra supone un 33.9% del coste de la instalación.

De estos resultados, podemos sacar como conclusión que el elemento que sufre mayor variación en este tipo de instalaciones es la instalación de los conductos debido a que la mano de obra prácticamente triplica el valor del material.

8.3. Análisis casos prácticos:

Vamos a realizar una comparativa entre los costes de una instalación de doble flujo y una de simple flujo, para que en el siguiente capítulo cuando analicemos la disminución de las cargas debido al recuperador podamos tener un criterio para saber si el ahorro obtenido con el uso de recuperador se compensa con el sobrecoste inicial de la instalación.

Para la obtención de los datos se han usado los mismos elementos en ambas instalaciones y el mismo fabricante.

Caso	Distribución de la vivienda	Coste Instalacion Doble Flujo con recuperador (€)	Coste Instalacion Simple Flujo (€)
1	Salón + Cocina + Baño + 1 Dormitorio	1617,13	443.36
2	Salón + Cocina + Baño + 2 Dormitorios	1656.73	462.22
3	Salón + Cocina +2 Baños + 2 Dormitorios	1692.95	472.46
4	Salón + Cocina +2 Baños + 3 Dormitorios	1894.18	551.51
5	Salón + Cocina + 2/3 Baños + 4 Dormitorios	1958.91	591.62
6	Salón + Cocina + 2/3 Baños + 5 Dormitorios	1991.58	599.74

Tabla 3: Comparativa Doble flujo vs Simple flujo

9 CASO REAL: SIMULACIÓN DE EDIFICIOS EN DIFERENTES ZONAS CLIMÁTICAS

Para este capítulo se han realizado la simulación de 4 edificios en distintas situaciones climáticas mediante el programa HULC.

Esta versión de la Herramienta Unificada LIDER/CALENER (HULC) facilita la verificación del CTE DB-HE 2019 y emite un informe para la Certificación energética de edificios.

9.1. Paquetes de mejoras estudiados

En cuanto a la transmitancia térmica, a la hora de realizar las simulaciones, existen numerosas soluciones posibles que cumplen el K límite variando las transmitancias de muros, cubiertas, suelos y ventanas por un lado y de las transmitancias lineales de los puentes térmicos por otro.

Para limitar el número de casos a estudiar se han definido paquetes de soluciones Inter consistentes, de forma que no aparezcan combinaciones inverosímiles o poco probables en las que se mezcla por ejemplo una ventana de altísimas prestaciones con un muro de fachada con un muy bajo nivel de aislamiento.

Los paquetes comprenden 3 combinaciones para las transmitancias de la envuelta (dependientes de la zona climática) y otras tres combinaciones para las transmitancias lineales de los puentes térmicos.

La búsqueda de las combinaciones de transmitancias se realiza mediante un algoritmo que gestiona las 9 soluciones pivote y sus interpolaciones de forma que se minimice el coste de la solución priorizando la mejora la transmitancia de los elementos de la envuelta sobre la mejora de la transmitancia lineal de los puentes térmicos.

Finalmente, es importante destacar que la obtención de la solución que permite verificar la exigencia del K límite es un paquete obtenido mediante interpolación entre los paquetes anteriores.

9.1.1 Transmitancia de la envuelta

Vamos a trabajar con 3 paquetes de soluciones.

- **Valores mínimos:**

Este paquete se corresponde con los valores mínimos incluidos en la tabla 3.1.1.a-HE1 que se reproduce a continuación:

Tabla 3.1.1.a - HE1 Valores límite de transmitancia térmica, U_{lim} [W/m^2K]

Elemento	Zona climática de invierno					
	α	A	B	C	D	E
Muros y suelos en contacto con el aire exterior (U_s , U_M) Muros, suelos y cubiertas en contacto con espacios no habitables (U_{NH}) o con el terreno (U_T) Medianerías (U_{MD})	1,35	1,25	1,00	0,75	0,60	0,55
Cubiertas en contacto con el aire exterior (U_c)	1,20	0,80	0,65	0,50	0,40	0,35
Huecos (conjunto de marco y vidrio) (U_H)	4,00	4,00	3,20	2,70	2,30	1,80

Tabla 4: Valores mínimos para la transmitancia térmica

- **Valores recomendados:**

Este último paquete se corresponde con los valores recomendados incluidos en la tabla a del Anexo E del borrador del nuevo Código Técnico de la Edificación.

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

		Zona Climática de invierno					
		α	A	B	C	D	E
Edificios nuevos y ampliaciones de edificios existentes	Muros y suelos en contacto con el aire exterior, U _M , U _S	0.56	0.50	0.38	0.29	0.27	0.23
	Cubiertas en contacto con el aire exterior, U _C	0.44	0.44	0.33	0.23	0.22	0.19
	Elementos en contacto con espacios no habitables o con el terreno U _T	1.20	1.20	0.69	0.48	0.48	0.48
	Huecos (conjunto de marco y vidrio), U _H	3.20	3.20	2.70	2.30	1.80	1.80

Tabla 5: Valores recomendados para la transmitancia térmica

- **Alta eficiencia:**

Se establece un límite a las transmitancias de los elementos de la envuelta correspondiente a la solución de alta eficiencia. Este límite se obtiene de la combinación que originó el coste óptimo en los estudios de fijación de requisitos mínimos de la actualización de 2013 del CTE-HE. En la figura siguiente se ilustra cómo se obtiene la combinación de coste óptimo que se corresponde con el punto 4.

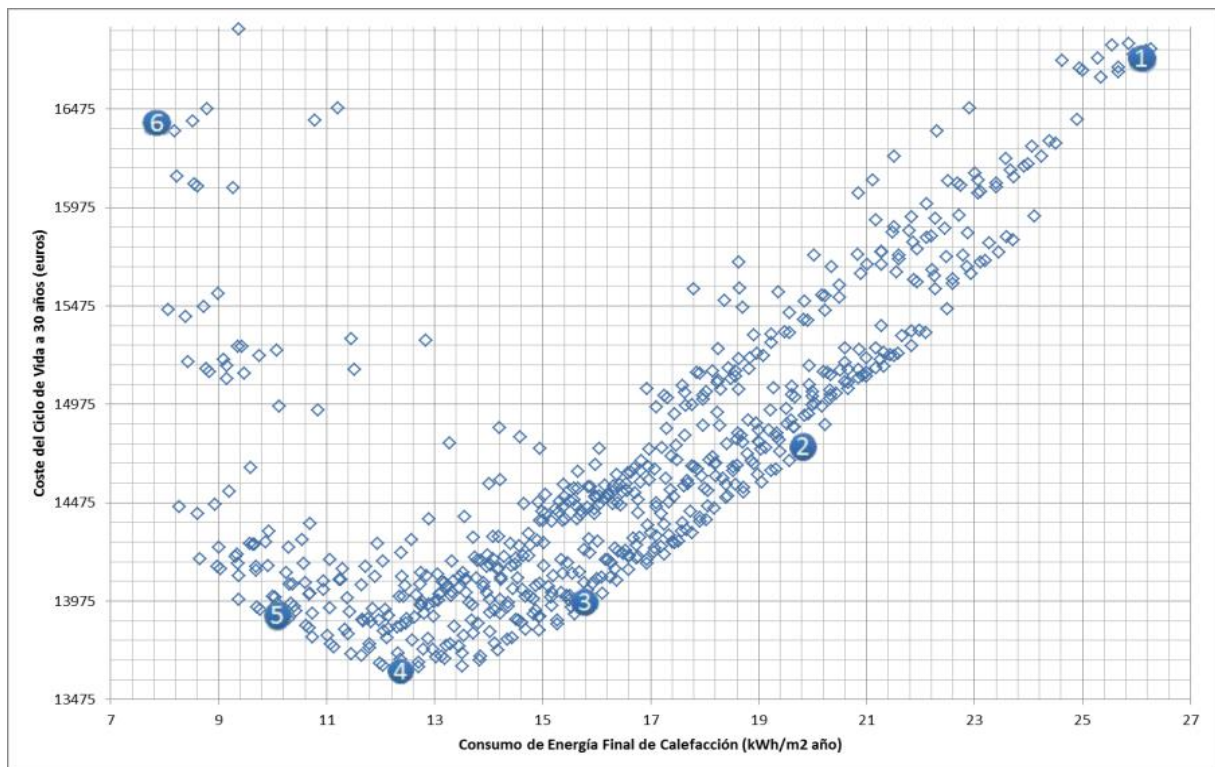


Ilustración 26: Obtención del coste óptimo

A modo de resumen se presentan las transmitancias (W/m²K) de los tres paquetes citados para las diferentes zonas climáticas:

	A			B			C			D			E		
	Min.	Recom.	Alta ef.	Min.	Recom.	Alta ef.	Min.	Recom.	Alta ef.	Min.	Recom.	Alta ef.	Min.	Recom.	Alta ef.
Umuros	1.25	0.5	0.3	1	0.38	0.27	0.75	0.29	0.18	0.6	0.27	0.18	0.55	0.23	0.18
Ucubiertas	0.8	0.44	0.23	0.65	0.33	0.21	0.5	0.23	0.15	0.4	0.22	0.15	0.35	0.19	0.15
Usuelos	1.25	1.2	0.37	1	0.69	0.32	0.75	0.48	0.22	0.6	0.48	0.19	0.55	0.48	0.19
Uventanas	4	3.2	2.6	3.2	2.7	2.1	2.7	2.3	1.8	2.3	1.8	1.4	1.8	1.8	1.3

Tabla 6: Transmitancia térmica envuelta - paquetes de mejoras

9.1.2 Transmitancia asociada a los puentes térmicos:

Para los puentes térmicos lineales (TTL), se han tomado asimismo los tres paquetes que se incluyen en la tabla siguiente:

Tipo de Puente Térmico	TTL Escenario Base (W/mK)	TTL Escenario mejora 1 (W/mK)	TTL Escenario mejora 2 (W/mK)
Frente de forjado	0.65	0.2	0.2
Forjado de cubierta	0.45	0.2	0.2
Forjado de suelo al exterior	0.45	0.2	0.2
Esquina saliente	0.15	0.1	0.1
Esquina entrante	-0.15	-0.15	-0.15
Contorno de hueco (ventanas)	0.4	0.1	0.05
Pilar	0.75	0.2	0.2
Unión entre solera y pared exterior	0.15	0.15	0.15

Tabla 7: Transmitancia puente térmicos – paquete de mejoras

9.1.3 Transmitancia asociada al control solar

Debido a que todos los edificios simulados deben cumplir todas las exigencias del CTE, es necesario evaluar la necesidad de instalar elementos de control solar.

Se ha evaluado y estimado cuál debería ser el factor solar (también denominado transmitancia total de energía solar) medio que requerirían los huecos especificados en el apartado anterior para cumplir la exigencia de 2 kWh/m²·mes durante julio.

En la tabla siguiente se muestran los valores de la transmitancia total de energía solar para cada caso.

	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 4
Bloque entremedianeras Sur	0.47	0.45	0.44	0.43
Bloque Manzana	0.36	0.33	0.33	0.31
Unif Aislada Este	0.26	0.24	0.24	0.23
Unif pareada este	0.23	0.21	0.21	0.20

Tabla 8: Transmitancia total de energía solar

Puesto que la transmitancia total de energía solar que tienen las ventanas sin elemento de sombra móvil es mayor en todos los casos que el reflejado en esta tabla, se concluye que para cumplir la exigencia es necesario en todos los casos recurrir a un elemento específico de control solar, aunque el efecto requerido, de acuerdo con la EN 14501 cae en la mayoría de los casos en la categoría de pequeño o moderado.

ÍNDICES DE CLASES TÉRMICAS SEGÚN LA NORMATIVA EN 14501:

CLASE (EN 14501)	0	1	2	3	4
Eficacia	Efecto mínimo	Efecto pequeño	Efecto moderado	Eficiente	Muy Eficiente
G_{tot}	$G_{tot} > 0,50$	$0,35 < G_{tot} < 0,50$	$0,15 < G_{tot} < 0,35$	$0,10 < G_{tot} < 0,15$	$G_{tot} < 0,10$

Tabla 9: Clases térmicas según la normativa EN 14501

9.2. Simulación de los edificios seleccionados

Las zonas climáticas seleccionadas para el estudio son las siguientes: A3, B4, C2, D2 y E1. Con esta selección, tenemos cubiertas las 5 zonas de invierno (A, B, C, D y E) y las 4 zonas de verano (1,2,3,4).

A modo ilustrativo, un mapa donde se muestran las diferentes zonas climáticas en las que se divide España.

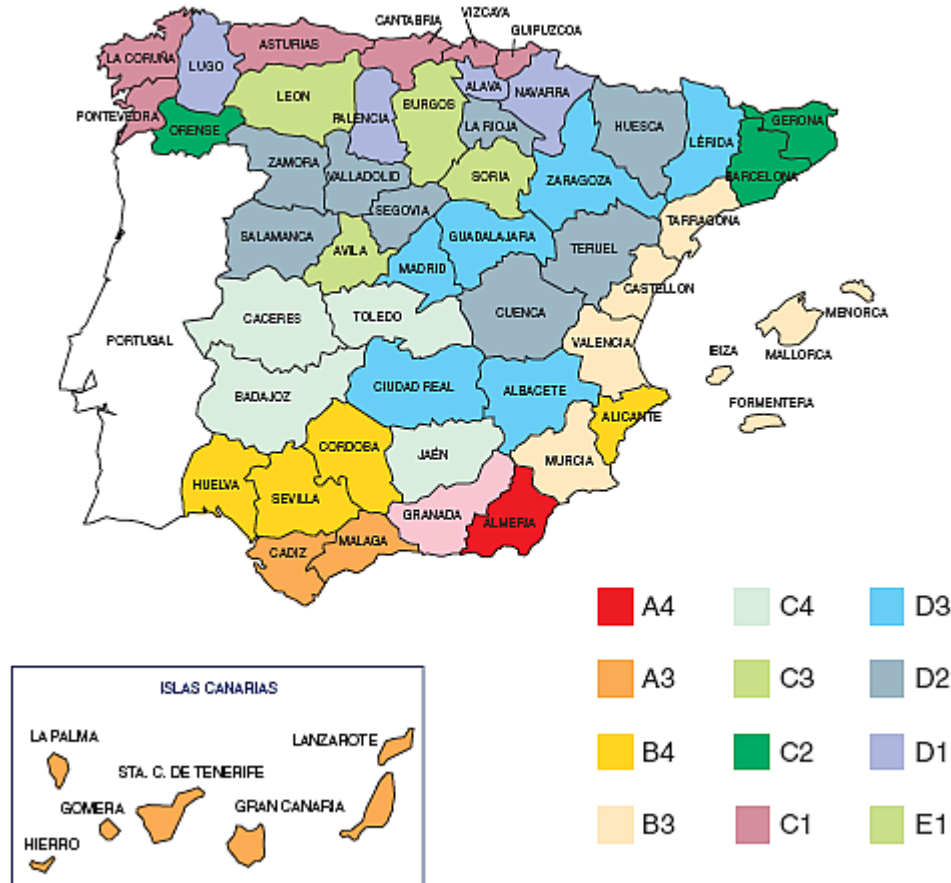


Ilustración 267: Zonificación climática de España (Construmática)

Los caudales nominales de ventilación requeridos se han calculado haciendo hipótesis sobre el número de dormitorios y baños que tendrían las diferentes viviendas contempladas.

Asimismo, se han supuesto dos niveles de estanqueidad comunes en viviendas de nueva construcción asociados a calidades bajas y medias, lo que origina valores n_{50} de 6 y de 2 h^{-1} respectivamente.

Con los dos grados de libertad citados se obtienen valores promedio de renovaciones hora equivalentes, incluyendo ventilación e infiltración y denotadas en lo sucesivo como ACH equivalente, que oscilan entre 0,6 y 0,4 h^{-1} .

Los edificios para los que se ha realizado la simulación son los que vemos a continuación:

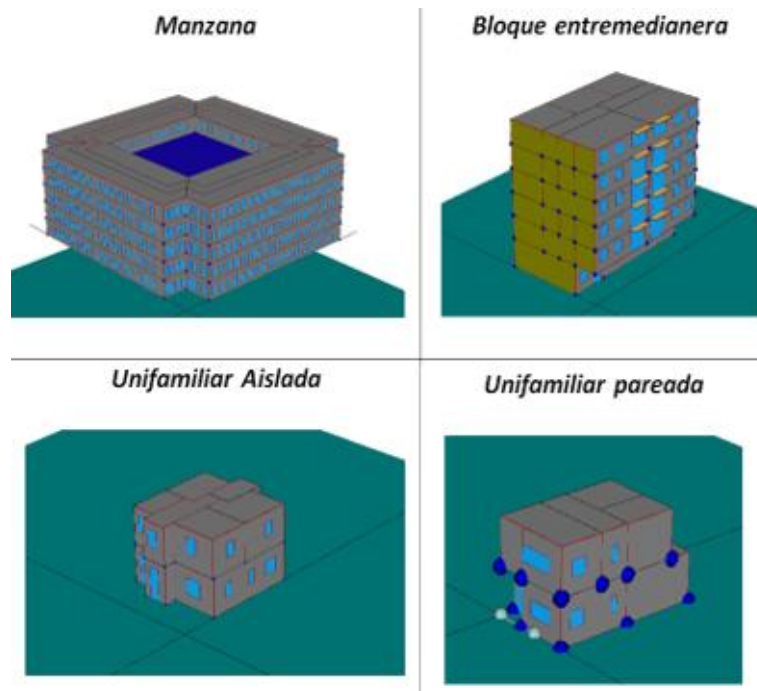


Ilustración 278: Simulación de edificios HULC

Finalmente, los valores escogidos para la realización de las simulaciones son los siguientes, cumpliendo de manera estricta el CTE-HE 2019, de donde se destaca el cumplimiento para Madrid (D3).

	Umuros	Ucubiertas	Usuelos	Uventanas	Puentes térmicos
Bloque entremedianeras Sur	0.26	0.21	0.32	1.83	MEJORA 1
Bloque Manzana	0.31	0.24	0.35	2.00	MEJORA 1
Unifamiliar. Aislada Este	0.26	0.21	0.32	1.84	MEJORA 1
Unifamiliar pareada este	0.20	0.17	0.22	1.52	ESCENARIO BASE

Tabla 10: Transmitancias simulación

Se observa cómo en ningún caso es necesario superar el paquete denominado de alta eficiencia.

Tras introducir todos estos datos de entrada, el programa nos proporciona un archivo txt con la información hora a hora de las cargas totales del edificio, las temperaturas y los caudales de aire que son necesarios satisfacer en cada espacio para cada edificio y zona climática estudiada.

Con los datos obtenidos en las simulaciones, para cada uno de los edificios se van a estudiar los siguientes casos:

- **Caso 1:** Extracción simple
 - Caso 1.1: Extracción simple
 - Caso 1.1: Extracción simple + control de presencia
- **Caso 2:** Doble flujo
 - Caso 2.1: Doble flujo con recuperador de calor
 - Caso 2.2: Doble flujo con recuperador de calor + control de presencia
- **Caso 3:** Doble flujo con recuperación adiabática
 - Caso 3.1: Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) 12h
 - Caso 3.2: Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) 24 h
 - Caso 3.3: Doble flujo con recuperador de calor + módulo adiabático (refrigeración) + control de presencia

Hipótesis de cálculo utilizadas:

1. El impacto de las medidas se va a valorar en los siguientes meses:
 - Régimen de calefacción en los meses de noviembre, diciembre, enero y febrero
 - Régimen de refrigeración en los meses de junio, julio, agosto y septiembre
2. Se va a calcular una carga de calefacción/refrigeración en el momento que exista una carga sobre cualquiera de los espacios del edificio.
3. El caudal necesario para el cálculo de la carga de calefacción/refrigeración se va a obtener mediante la suma de los caudales de cada espacio en los que haya carga en la hora analizada, de esta forma no sobreestimamos las cargas como lo haríamos de tomar en todo momento el caudal total del edificio.
4. La temperatura interior va a ser de 25°C en verano y de 20°C en invierno.
5. La temperatura de bulbo húmeda para cada zona, se ha calculado con el programa EES (este programa tiene incorporadas las tablas psicométricas del aire) mediante la siguiente fórmula:

$$wb=WetBulb(AirH2O;T=TEXT;W=WEXT;P=101,325)$$

Siendo

Wb: temperatura de bulbo húmedo

Text: temperatura exterior

Wext: humedad relativa del aire

P: presión

6. El módulo adiabático solo va a ser analizado en los edificios plurifamiliares ya que trabaja con caudales de aire más elevados que los de una vivienda unifamiliar.

10 ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este apartado se va a realizar un ejemplo del cálculo de las cargas para uno de los edificios plurifamiliares, entremedianeras sur, sin embargo, en los anexos C y D se puede consultar todos los detalles del cálculo de las cargas para todos los edificios y todas las zonas climáticas.

10.1. Condiciones de cálculo

Antes de exponer los resultados, de forma resumida se van a indicar las condiciones de cálculo para cada caso estudiado:

- **Caso 1:** Extracción simple.

Para la ventilación, se considera una temperatura de impulsión de 25°C en verano y 20°C en invierno.

- **Caso 2:** Doble flujo

En este caso, el sistema de ventilación va a disponer de un recuperador de calor con una eficiencia del 85%. Por lo que la nueva temperatura de impulsión vendrá dada por la siguiente ecuación:

$$T_{imp} = T_{ext} - E_{rec} * (T_{ext} - T_{int}) \text{ en régimen de calefacción}$$
$$T_{imp} = T_{ext} + E_{rec} * (T_{int} - T_{ext}) \text{ en régimen de refrigeración}$$

Siendo:

T_{imp} : nueva temperatura de impulsión tras el paso por el recuperador

T_{int} : temperatura interior

T_{ext} : Temperatura exterior

E_{rec} : eficiencia energética del recuperador

- **Caso 3:** Doble flujo con recuperación adiabática

En esta ocasión, además del recuperador de calor, se incorporará un módulo adiabático para el régimen de refrigeración, por lo que en esta ocasión las temperaturas vendrán condicionadas por la eficiencia del módulo adiabático y la temperatura de bulbo húmedo.

Con el módulo adiabático saturamos el aire de extracción antes de su paso por el recuperador de calor, por lo que la nueva temperatura del aire de extracción es:

$$T_{extrac} = T_{int} - E_{ad} * (T_{int} - T_{bh})$$
$$T_{imp} = T_{ext} - E_{rec} * (T_{ext} - T_{extrac})$$

Siendo:

T_{extrac} : nueva temperatura del aire de extracción tras ser saturado

T_{bh} : temperatura de bulbo húmedo

T_{imp} : nueva temperatura de impulsión tras el paso por el recuperador

E_{ad} : eficiencia del módulo adiabático

Para todos los casos, el cálculo de la carga de ventilación se va a realizar del siguiente modo:

$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{imp} - T_{ext})$ en régimen de calefacción

$Q = m \cdot c_p \cdot (T_{ext} - T_{imp})$ en régimen de refrigeración

Siendo:

Q: carga de ventilación

m: caudal de aire

c_p : calor específico del aire

T_{imp} : nueva temperatura de impulsión tras el paso por el recuperador

T_{ext} : Temperatura exterior

10.2. Ejemplo de cálculo: Entremedianeras Sur

Una vez indicadas las condiciones de cálculo, se va a mostrar los resultados para el edificio de Entremedianeras Sur, zonas climáticas B4 y E1.

	B4			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	8330,48 KWh		27408,52 KWh	
Demanda meses estudiados	4418,38 KWh		21567,72 KWh	
Extracción Simple	2111,53 KWh	47,79%	2410,20 KWh	11,18%
Extracción Simple + control de presencia	1526,61 KWh	34,55%	1750,64 KWh	8,12%
Recuperador	316,73 KWh	7,17%	361,53 KWh	1,68%
Recuperador + control de presencia	228,99 KWh	5,18%	262,60 KWh	1,22%
Adiabático 12 h	N/A		-1305,07 KWh	-6,05%
Adiabático 24h	N/A		-2726,25 KWh	-12,64%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-952,88 KWh	-4,42%

Tabla 11: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – B4

	E1			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	55205,64 KWh		2161,25 KWh	
Demanda meses estudiados	27477,11 KWh		1505,07 KWh	
Extracción Simple	12522,97 KWh	45,58%	80,73 KWh	5,36%
Extracción Simple + control de presencia	9030,60 KWh	32,87%	61,02 KWh	4,05%
Recuperador	1878,45 KWh	6,84%	12,11 KWh	0,80%
Recuperador + control de presencia	1354,59 KWh	4,93%	9,15 KWh	0,61%
Adiabático 12 h	N/A		-474,41 KWh	-31,52%
Adiabático 24h	N/A		-650,55 KWh	-43,22%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-323,87 KWh	-21,52%

Tabla 12: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – E1

10.3. Análisis de resultados

Tras analizar los resultados obtenidos, se comprueba que a pesar de los valores tan distintos obtenidos para las cargas de calefacción y refrigeración, el peso de las cargas de ventilación calculado en %, es similar para los casos de extracción simple y recuperador de calor en todas las zonas climáticas.

En el caso de la mejora mediante el uso del módulo adiabático, depende de la humedad del aire, por lo que no podemos comparar los resultados de una zona A3 con los de una E1.

A modo de resumen, se van a exponer, por un lado, para las viviendas plurifamiliares y por otro lado para las unifamiliares, los porcentajes promedios del peso de la ventilación sobre el total de la carga tras el uso de las distintas mejoras:

Viviendas plurifamiliares:

	Calefacción	
	Entremedianeras Sur	Manzana
Extracción Simple	47,05%	38,73%
Extracción Simple + control de presencia	33,81%	27,94%
Recuperador	7,06%	5,81%
Recuperador + control de presencia	5,07%	4,19%

Tabla 13: Porcentaje de mejora viviendas plurifamiliares - calefacción

	Refrigeración	
	Entremedianeras Sur	Manzana
Extracción Simple	8,01%	7,21%
Extracción Simple + control de presencia	5,69%	5,11%
Recuperador	0,64%	1,20%
Recuperador + control de presencia	0,47%	0,85%

Tabla 14: Porcentaje de mejora viviendas plurifamiliares – refrigeración

Viviendas unifamiliares:

	Calefacción	
	Pareado Este	Aislado Este
Extracción Simple	24,51%	21,12%
Extracción Simple + control de presencia	17,60%	15,18%
Recuperador	3,68%	3,17%
Recuperador + control de presencia	2,64%	2,28%

Tabla 15: Porcentaje de mejora viviendas unifamiliares - calefacción

	Refrigeración	
	Pareado Este	Aislado Este
Extracción Simple	5,80%	6,16%
Extracción Simple + control de presencia	4,12%	4,35%
Recuperador	7,06%	0,78%
Recuperador + control de presencia	5,07%	0,56%

Tabla 16: Porcentaje de mejora viviendas unifamiliares – refrigeración

Comprobamos que el porcentaje del peso de la ventilación en caso de viviendas plurifamiliares es más dependiente del diseño del edificio estudiado, y en las unifamiliares prácticamente no varía con relación a la disposición de la vivienda.

REFERENCIAS

- [1] Siber, de *Hacia un futuro sostenible: la ventilación de doble flujo*.
- [2] Siber, «Ventilación de Simple Flujo,» [En línea]. Available: <https://www.siberzone.es/sistemas-de-ventilacion/ventilacion-de-simple-flujo/>.
- [3] S. & Palau, «Ventilación Mecánica Controlada (VMC),» [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/ventilacion-mecanica-controlada/>.
- [4] S. & Palau. [En línea]. Available: <https://www.solerpalau.com/es-es/blog/enfriamiento-adiabatico/>.
- [5] Siber, «Ventilación de Doble Flujo,» [En línea]. Available: <https://www.siberzone.es/sistemas-de-ventilacion/ventilacion-de-doble-flujo/>.
- [6] Natuygy, «¿Sabes lo que es el free cooling?,» [En línea]. Available: https://www.naturgy.es/empresas/blog/sabes_lo_que_es_el_free_cooling.
- [7] S. y. proyectos, «Freecooling,» [En línea]. Available: <https://www.simulacionesyproyectos.com/blog-ingenieria-arquitectura/free-cooling-ventilacion-natural-mecanica/>.
- [8] C. Group, «Free cooling: ventilación natural para mejorar la eficiencia energética,» [En línea]. Available: <https://www.cottesgroup.com/blog/free-cooling>.
- [9] Sodeca, «Soluciones en Ventilación; SISTEMAS VMC unifamiliar,» [En línea]. Available: <https://www.sodeca.es/soluciones/unifamiliar>.
- [10] Sodeca, «Soluciones en Ventilación; SISTEMAS VMC colectivo,» [En línea]. Available: <https://www.sodeca.es/soluciones/colectivas>.
- [11] Sodeca, «Catalogo recuperador,» [En línea]. Available: <https://www.sodeca.es/catalogs>.
- [12] J. G. SANCHEZ, «PROYECTO BASICO Y DE EJECUCION REHABILITACIÓN Y AMPLIACIÓN DE DOS VIVIENDAS UNIFAMILIARES EN MEZQUITA DE JARQUE (TERUEL),» 2020.
- [13] Tecna, «Catalogos,» [En línea]. Available: https://www.tecna.es/images/Tarifas/normal/Tarifa%20TECNA%20completa_12-01-2021.pdf.
- [14] Construmatica, «España: Zonas Climáticas por Provincia,» [En línea]. Available: https://www.construmatica.com/construpedia/Espa%C3%B1a:_Zonas_Clim%C3%A1ticas_por_Provincia.

ANEXO A: INSTALACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR CONDUCTOS RÍGIDOS

Los modelos y las prestaciones de los recuperadores utilizados en el estudio son las siguientes (extraídas del catálogo del fabricante Tecna):

- SABIANA serie ENY SLIM (Eficiencia 88%):

Los recuperadores ENY SLIM, son modelos especialmente diseñados para instalación horizontal, ya que son extraplano y por lo tanto muy adecuados para instalar en falso techo.

Los recuperadores incorporan motores inverter EC (2 x 29,5 W) de alto rendimiento, muy bajo consumo, y son extraordinariamente silenciosos (solo 37 dbA).

- TECNA KOMFORT BASIC (Eficiencia de 88 %):

La Ventilación Mecánica Controlada (VMC) TECNA KOMFORT BASIC abarca los pequeños caudales para ventilaciones mecánicas controladas de doble flujo en viviendas, y, por lo tanto, es muy adecuada para instalaciones residenciales de nueva construcción según el nuevo CTE relativo a edificios de consumo energético casi nulo, cumpliendo la ErP2018.

La Ventilación mecánica Controlada (VMC) TECNA KOMFORT BASIC incorpora intercambiador estático y motor de bajo consumo.

- TECNAVENTS serie KOMFORT VUE P3B (Eficiencia 94 %):

Los recuperadores de calor TECNAVENTS serie KOMFORT VUE P3B, abarcan los pequeños caudales para ventilaciones mecánicas controladas de doble flujo en viviendas, y, por lo tanto, son muy adecuados para instalaciones residenciales de nueva construcción según el nuevo CTE relativo a edificios de consumo energético casi nulo, cumpliendo la Directiva UE 1253/14 y ErP2018.

Todos los recuperadores de calor TECNAVENTS KOMFORT VUE P3B incorporan un intercambiador entálpico a contracorriente, con eficiencia recuperación humedad del 27 al 47 %), motor EC, bypass y filtros G4/F8.

- TECNA VENTILPLUS (Eficiencia superior al 77 %):
 - Equipados con prefiltro + filtros F7.
 - Altura reducida adecuada para falsos techos.
 - Con motor AC y control digital LCD multispeed.
 - Sin bypass.

Los precios y el desglose de componentes necesarios para la instalación se han obtenido del catálogo de Tecna 2021.

Vivienda			(1) RECUPERADOR DE CALOR			(2) EXTRACCIÓN/IMPULSIÓN AIRE EXTERIOR			(2) Ø CONDUCTO FLEXIBLE AIRE EXT.			(2) EXTRACCIÓN DEL AIRE DEL LOCAL			(2) IMPULSIÓN DE AIRE AL LOCAL			PRESUPUESTO					CONCLUSIONES																																
CASO	Disposición	Caudal (m3/h)	Modelo	Eficiencia del recuperador	Precio	Accesorios	Uds	Precio	Conducto	Metros	Precio € (metro lineal)	Accesorios	Uds	Precio	Accesorios	Uds	Precio	Recuperador	Conducto flexible	Conducto rígido	Accesorios extracción	Accesorios impulsión	TOTAL	% Recuperador del total																															
1	Salón + Cocina + Baño + 1 Dormitorio	50,4	ENY SHP 130 SLIM (Qmáx 130-Qnom 90)	88	1490	Campana	2	18	125 ISODUCT	4	3,62	Reducción circular 125/100	1	2,8	Reducción circular 125/100	1	2,8	1490	14,48	51,2	28,28	33,17	1617	92,14																															
			VUE 100P Mini H (Qmax 100)	77	510	Abrazadera	2	1,28				Tubo Redondo D-100*1500 (€/m)	5	5,12	Empalme mixto D-100 110*55	1	1,89								Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	5	5,12	Bocas extracción A 100 VR	2	3,95	Empalme rectangular 110*55	2	0,84	Codo Redondo 90 D-100	2	2,33	Te Tres bocas rectangular 110*55	2	4,76	Abrazadera Redonda D-100	2	1,22	Codo 90° vertical 110*55	2	1,37	Te tres bocas redondas D-100	2	4,4	Codo 90° Horizontal 110*55	2	1,45	Abrazadera Plana 110*55	2	1,22	Rejilla con regulador 110*55
2	Salón + Cocina + Baño + 2 Dormitorios	72	KOMFORT VUE 150 P3B EC/A14 (Qmax - 150)	94	1500	Campana	2	18	125 ISODUCT	4	3,62	Reducción	1	2,8	Reducción	1	2,8	1500	14,48	66,56	28,28	47,41	1657	90,54																															
			KOMFORT BASIC VUE 150 P3 (Qmax - 150)	88	997	Abrazadera	2	1,28				Tubo Redondo D-100*1500 (€/m)	6	5,12	Empalme mixto D-100 110*55	1	1,89								Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	7	5,12	Bocas extracción A 100 VR	2	3,95	Empalme rectangular 110*55	3	0,84	Codo Redondo 90 D-100	2	2,33	Te Tres bocas rectangular 110*55	3	4,76	Abrazadera Redonda D-100	2	1,22	Codo 90° vertical 110*55	3	1,37	Te tres bocas redondas D-100	2	4,4	Codo 90° Horizontal 110*55	3	1,45	Abrazadera Plana 110*55	3	1,22	Rejilla con regulador 110*55
3	Salón + Cocina + 2 Baños + 2 Dormitorios	86	KOMFORT VUE 150 P3B EC/A14 (Qmax - 150)	94	1500	Campana	2	18	125 ISODUCT	4	3,62	Reducción	1	2,8	Reducción	1	2,8	1500	14,48	87,04	41,02	47,41	1693	88,60																															
			KOMFORT BASIC VUE 150 P3 (Qmax - 150)	88	997	Abrazadera	2	1,28				Tubo Redondo D-100*1500 (€/m)	8	5,12	Empalme mixto D-100 110*55	1	1,89								Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	9	5,12	Bocas extracción A 100 VR	3	3,95	Empalme rectangular 110*55	3	0,84	Codo Redondo 90 D-100	3	2,33	Te Tres bocas rectangular 110*55	3	4,76	Abrazadera Redonda D-100	3	1,22	Codo 90° vertical 110*55	3	1,37	Te tres bocas redondas D-100	3	4,4	Codo 90° Horizontal 110*55	3	1,45	Abrazadera Plana 110*55	3	1,22	Rejilla con regulador 110*55
4	Salón + Cocina + 2 Baños + 3 Dormitorios	94	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	Campana	2	21,5	160 ISODUCT	5	3,98	Reducción circular D150-120	1	2,8	Reducción circular D150-100	1	2,8	1600	19,9	138,22	74,41	61,65	1894	84,47																															
			VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712	Abrazadera	2	1,16				Tubo Redondo D-120*1500 (€/m)	10	8,19	Empalme mixto D-100 110*55	1	1,89								Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	11	5,12	Bocas extracción A 125 VR	3	4,95	Empalme rectangular 110*55	4	0,84	Codo Redondo 90 D-120	3	3,26	Te Tres bocas rectangular	4	4,76	Abrazadera Redonda D-120	3	1,61	110*55 Codo 90° vertical 110*55	4	1,37	Te tres bocas redondas D-120	3	12,55	Codo 90° Horizontal 110*55	4	1,45	Abrazadera Plana 110*55	4	1,22	Rejilla con regulador 110*55
5	Salón + Cocina + 2/3 Baños + 4 Dormitorios	118	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	Campana	2	21,5	160 ISODUCT	5	3,98	Reducción circular D150-120	1	2,8	Reducción circular D150-100	1	2,8	1600	19,9	164,84	98,28	75,89	1959	81,68																															
			VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712	Abrazadera	2	1,16				Empalme Redondo D-120	4	1,5	Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	13	5,12								Bocas extracción A 125 VR	4	4,95	Empalme rectangular 110*55	5	0,84	Codo Redondo 90 D-120	4	3,26	Te Tres bocas rectangular	5	4,76	Abrazadera Redonda D-120	4	1,61	110*55 Codo 90° vertical 110*55	5	1,37	Te tres bocas redondas D-120	4	12,55	Codo 90° Horizontal 110*55	5	1,45	Abrazadera Plana 110*55	5	1,22	Rejilla con regulador 110*55	5	4,6	1071
6	Salón + Cocina + 2/3 Baños + 5 Dormitorios	122	KOMFORT VUE 250 P3B EC/A14 (Qmax - 250)	94	1600	Campana		21,5	160 ISODUCT	5	3,98	Reducción circular D150-120	1	2,8	Reducción circular D150-100	1	2,8	1600	19,9	183,27	98,28	90,13	1992	80,34																															
			VENTILPLUS LC QFA-D250M-F (Qmax 250)	77	712			Empalme Redondo D-120				4	1,5	Tubo rectangular 110*55*1500 (€/m)	15	5,12	Bocas extracción A 125 VR								4	4,95	Empalme rectangular 110*55	6	0,84	Codo Redondo 90 D-120	4	3,26	Te Tres bocas rectangular	6	4,76	Abrazadera Redonda D-120	4	1,61	110*55 Codo 90° vertical 110*55	6	1,37	Te tres bocas redondas D-120	4	12,55	Codo 90° Horizontal 110*55	6	1,45	Abrazadera Plana 110*55	6	1,22	Rejilla con regulador 110*55	6	4,6	1104	64,52
			VENTILPLUS LC QFA-D350M-F (Qmax 350)	77	900	Abrazadera		1,16																												1292	69,68																		

Tabla 17: Componentes instalación de conductos rígidos

ANEXO B: INSTALACIÓN DE VIVIENDA UNIFAMILIAR CONDUCTOS FLEXIBLES

Para este caso, se ha utilizado una misma serie de recuperadores, serie SABIANA ENY.

Este tipo de recuperadores de calor incorporan intercambiadores estáticos a contracorriente, motores EC, filtros F7 + M5 y control digital de serie (el cual permite el control de forma automática o de forma manual del equipo a través de medidas de CO2 y humedad). Podemos diferenciar entre dos gamas en esta misma serie:

- Los recuperadores ENY SLIM, son modelos especialmente diseñados para instalación horizontal, ya que son extraplano --> sin by pass. Los recuperadores incorporan motores inverter EC (2 x 29,5 W) de alto rendimiento, muy bajo consumo, y son extraordinariamente silenciosos (solo 37 dbA). El precio no incluye el control

Los recuperadores ENY PRO son modelos especialmente diseñados con by-pass para una mayor eficiencia energética, con función de free-cooling (verano) y free-heating (invierno). Se incluye el control digital

CASO	RECUPERADOR DE CALOR		EXTRACCIÓN/IMPULSIÓN AIRE EXTERIOR		Conducto HASTA PLENUM FLEXIBLE		PLENUM DISTRIBUCIÓN		ØDESDE PLENUM CONDUCTO SEMIFLEXIBLE	EXTRACCIÓN DEL AIRE DEL LOCAL		IMPULSIÓN DE AIRE AL LOCAL		PRESUPUESTO					CONCLUSIONES				
	Modelo	EFICIENCIA RECUPERADOR %	Accesorios	Uds	Modelo	M	Accesorios	Uds		Accesorios	Uds	Accesorios	Uds	Recuperador	Conducto flexible	Accesorios extraccion	Accesorios Impulsion	TOTAL	% Recuperador del total				
1	ENY SHP 130 SLIM (Qmáx 130 - Qnom 90)	88	Campana	2	125 ISODUT	4	Plenum 6 Salidas	2	75	Boca Ø 100	2	Rejilla	2	1490	174,48	124,84	131,44	1920,76	77,57				
							Tapa	8		Manguito	2	Manguito	2										
	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)		Abrazadera	2			Manguito	4		Junta	2	Junta	2	1850				2		Conector impulsión	2	2280,76	81,11
							Junta	4		Conector extracción	2	Tapa	2										
							Regulador caudal	4		Tapa	2												
2	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)	92	Campana	2	125 ISODUT	4	Plenum 6 Salidas	2	75	Boca Ø 100	3	Rejilla	3	1850	174,48	187,26	197,16	2408,9	76,80				
							Tapa	6		Manguito	3	Manguito	3										
	ENY-SP 180 PRO (Qmáx 180 - Qnom 130)		Abrazadera	2			Manguito	6		Junta	3	Junta	3	2400				3		Conector impulsión	3	2958,9	81,11
							Junta	6		Conector extracción	3	Tapa	3										
							Regulador caudal	6		Tapa	3												
3	ENY-SHP 170 PRO (Qmáx 170 - Qnom 105)	92	Campana	2	125 ISODUT	4	Plenum 6 Salidas	2	75	Boca Ø 100	3	Rejilla	3	1850	174,48	187,26	197,16	2408,9	76,80				
							Tapa	6		Manguito	3	Manguito	3										
	ENY-SP 180 PRO (Qmáx 180 - Qnom 130)		Abrazadera	2			Manguito	4		Junta	3	Junta	3	2400				3		Conector impulsión	3	2958,9	81,11
							Junta	4		Conector extracción	3	Tapa	3										
							Regulador caudal	4		Tapa	3												
4	ENY-SP 280 PRO (Qmáx 280 - Qnom 200)	92	Campana	2	160 ISODUT	5	Plenum 6 Salidas	2	75	Boca Ø 100	4	Rejilla	4	2500	179,9	249,68	262,88	3192,46	78,31				
							Tapa	4		Manguito	4	Manguito	4										
	Abrazadera		2	Manguito			8	Junta		4	Junta	4	2500	4				Conector impulsión		4	3192,46	78,31	
				Junta			8	Conector extracción		4	Tapa	4											
				Regulador caudal			8	Tapa		4													
5	ENY-SP 280 PRO (Qmáx 280 - Qnom 200)	92	Campana	2	160 ISODUT	5	Plenum 10 Salidas	2	75	Boca Ø 100	4	Rejilla	5	2500	179,9	249,68	328,6	3258,18	76,73				
							Tapa	10		Manguito	4	Manguito	5										
	Abrazadera		2	Manguito			10	Junta		4	Junta	5	2500	4				Conector impulsión		5	3258,18	76,73	
				Junta			10	Conector extracción		4	Tapa	5											
				Regulador caudal			10	Tapa		4													
6	ENY-SP 370 PRO (Qmáx 370 - Qnom 260)	92	Campana	2	160 ISODUT	5	Plenum 10 Salidas	2	75	Boca Ø 100	4	Rejilla	6	2640	179,9	249,68	394,32	3463,9	76,21				
							Tapa	8		Manguito	4	Manguito	6										
	Abrazadera		2	Manguito			12	Junta		4	Junta	6	2640	4				Conector impulsión		6	3463,9	76,21	
				Junta			12	Conector extracción		4	Tapa	6											
				Regulador caudal			12	Tapa		4													

Tabla 18: Componentes instalación de conductos flexibles

ANEXO C: CÁLCULO DE CARGAS

A continuación, se van a mostrar a modo de ejemplo, el cálculo de un día de invierno (15 de enero) y un día de verano (15 de agosto) para cada caso práctico estudiado, en una de las zonas climáticas: A3.

Estos cálculos se han realizado hora a hora, para cada edificio y zona climática.

Caso 1: Extracción simple

															A3				
															CARGAS		CARGAS VENTILACION		
															CAL	REF	CAL	REF	
															DEM [kWh/year] total				
															3924,57	18377,25	1108,74	1353,09	
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido		2303,07	14666,90	48,14%	9,23%
15	1	15	1	1	0,7099	8,889	N/A	N/A	6,468	20,637	0,000	0	0	0	1	0	0	0,00	0,00
15	1	15	2	1	0,7112	8,333	N/A	N/A	6,192	20,320	0,000	0	0	0	2	0	0	0,00	0,00
15	1	15	3	1	0,7127	7,778	N/A	N/A	5,913	20,047	0,000	0	0	0	3	0	0	0,00	0,00
15	1	15	4	1	0,7143	7,222	N/A	N/A	5,632	19,800	0,000	0	0	0	4	0	0	0,00	0,00
15	1	15	5	1	0,7158	6,667	N/A	N/A	5,349	19,573	0,000	0	0	0	5	0	0	0,00	0,00
15	1	15	6	1	0,7172	6,111	N/A	N/A	5,063	19,370	20,000	1	0	0,044676	6	-339,139496	0	620,50	0,00
15	1	15	7	1	0,7186	5,556	N/A	N/A	4,776	19,179	20,000	1	0	0,044764	7	-496,245361	0	646,59	0,00
15	1	15	8	1	0,7201	5,000	N/A	N/A	4,485	20,261	20,000	1	0	0,327896	8	-31298,37271	0	4918,44	0,00
15	1	15	9	1	0,7201	5,000	N/A	N/A	4,485	20,210	20,000	1	0	0,327894	9	-12788,90735	0	4918,41	0,00
15	1	15	10	1	0,7171	6,111	N/A	N/A	5,063	20,332	20,000	1	0	0,326533	10	-11262,01553	0	4535,18	0,00
15	1	15	11	1	0,7133	7,222	N/A	N/A	5,632	20,560	20,000	1	0	0,324815	11	-9480,53994	0	4150,41	0,00
15	1	15	12	1	0,7101	8,333	N/A	N/A	6,192	20,853	20,000	1	0	0,323358	12	-7820,654312	0	3772,51	0,00
15	1	15	13	1	0,7070	10,000	N/A	N/A	7,014	21,241	20,000	1	0	0,301014	13	-6420,678865	0	3010,14	0,00
15	1	15	14	1	0,7049	10,556	N/A	N/A	7,283	21,567	20,000	1	0	0,267679	14	-5073,937713	0	2528,08	0,00
15	1	15	15	1	0,7042	11,111	N/A	N/A	7,550	21,675	20,000	1	0	0,299794	15	-4415,58281	0	2664,84	0,00
15	1	15	16	1	0,7040	11,111	N/A	N/A	7,550	21,748	20,000	1	0	0,299737	16	-4643,368133	0	2664,33	0,00
15	1	15	17	1	0,7048	10,556	N/A	N/A	7,283	21,777	20,000	1	0	0,300082	17	-5409,810748	0	2834,11	0,00
15	1	15	18	1	0,7069	10,000	N/A	N/A	7,014	21,634	20,000	1	0	0,300955	18	-6507,214051	0	3009,55	0,00
15	1	15	19	1	0,7084	9,444	N/A	N/A	6,742	21,343	20,000	1	0	0,301578	19	-7044,477478	0	3183,32	0,00
15	1	15	20	1	0,7088	8,889	N/A	N/A	7,661	21,187	20,000	1	0	0,301788	20	-5880,587952	0	3353,20	0,00
15	1	15	21	1	0,7094	8,889	N/A	N/A	7,661	21,072	20,000	1	0	0,302032	21	-5940,827545	0	3355,91	0,00
15	1	15	22	0,25	0,7100	8,333	N/A	N/A	7,394	20,978	20,000	1	0	0,302285	22	-6029,064942	0	3526,66	0,00
15	1	15	23	0,25	0,7107	8,333	N/A	N/A	7,394	20,897	20,000	1	0	0,302575	23	-6147,498611	0	3530,04	0,00
15	1	15	24	0,25	0,7113	7,778	N/A	N/A	7,126	20,489	0,000	0	0	0	24	0	0	0,00	0,00

Tabla 19: Extracción simple invierno

															A3				
															CARGAS		CARGAS VENTILACION		
															CAL	REF	CAL	REF	
															DEM [kWh/year] total				
															3924,57	18377,25	1108,74	1353,09	
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido		2303,07	14666,90	48,14%	9,23%
227	8	15	1	1	4,2229	25,556	N/A	N/A	16,510	25,822	0,000	0	0	0	1	0	0	0,00	0,00
227	8	15	2	1	4,2428	23,889	N/A	N/A	15,910	25,751	0,000	0	0	0	2	0	0	0,00	0,00
227	8	15	3	1	4,2613	22,778	N/A	N/A	15,510	25,514	0,000	0	0	0	3	0	0	0,00	0,00
227	8	15	4	1	4,2790	21,667	N/A	N/A	15,100	25,179	0,000	0	0	0	4	0	0	0,00	0,00
227	8	15	5	1	4,2983	20,556	N/A	N/A	13,750	24,768	0,000	0	0	0	5	0	0	0,00	0,00
227	8	15	6	1	4,3168	19,444	N/A	N/A	14,260	24,310	0,000	0	0	0	6	0	0	0,00	0,00
227	8	15	7	1	4,3341	17,778	N/A	N/A	13,610	23,821	0,000	0	0	0	7	0	0	0,00	0,00
227	8	15	8	1	4,3315	18,333	N/A	N/A	13,830	23,542	0,000	0	0	0	8	0	0	0,00	0,00
227	8	15	9	0,25	0,6813	19,444	N/A	N/A	14,260	24,104	0,000	0	0	0	9	0	0	0,00	0,00
227	8	15	10	0,25	0,6774	21,111	N/A	N/A	14,890	24,563	0,000	0	0	0	10	0	0	0,00	0,00
227	8	15	11	0,25	0,6722	23,333	N/A	N/A	15,710	25,013	0,000	0	0	0	11	0	0	0,00	0,00
227	8	15	12	0,25	0,6663	26,111	N/A	N/A	16,700	25,548	0,000	0	0	0	12	0	0	0,00	0,00
227	8	15	13	0,25	0,6624	27,778	N/A	N/A	17,280	26,076	0,000	0	0	0	13	0	0	0,00	0,00
227	8	15	14	0,25	0,6602	28,889	N/A	N/A	17,660	26,539	0,000	0	0	0	14	0	0	0,00	0,00
227	8	15	15	0,25	0,6584	29,444	N/A	N/A	17,010	26,961	0,000	0	0	0	15	0	0	0,00	0,00
227	8	15	16	0,25	0,6571	30,556	N/A	N/A	17,400	25,000	25,000	0	1	0,657091	16	0	64612,77661	0,00	3650,51
227	8	15	17	0,5	0,6562	30,556	N/A	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656221	17	0	27800,06078	0,00	3645,67
227	8	15	18	0,5	0,6561	30,556	N/A	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656105	18	0	25645,65193	0,00	3645,03
227	8	15	19	0,5	0,6568	30,556	N/A	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656847	19	0	23642,91719	0,00	3649,15
227	8	15	20	0,5	0,6587	29,444	N/A	N/A	17,850	25,000	25,000	0	1	0,658725	20	0	24458,76996	0,00	2927,67
227	8	15	21	0,5	0,6617	27,778	N/A	N/A	17,280	25,000	25,000	0	1	0,661676	21	0	22606,48102	0,00	1837,99
227	8	15	22	0,5	0,6646	26,667	N/A	N/A	16,900	25,000	25,000	0	1	0,664633	22	0	19878,1046	0,00	1107,72
227	8	15	23	0,5	0,6673	25,556	N/A	N/A	16,510	25,000	25,000	0	1	0,667307	23	0	18285,63637	0,00	370,73
227	8	15	24	0,5	0,6700	24,444	N/A	N/A	16,110	25,508	0,000	0	0	0	24	0	0	0,00	0,00

Tabla 20: Extracción simple Verano

Caso 2: Recuperador de calor

															A3			
															CARGAS		CARGAS VENTILACION	
															CAL	REF	CAL	REF
															DEM [kWh/year] total			
															3924,57	18377,25	166,31	202,96
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido	2303,07	14666,90	7,22%	1,38%
15	1	15	1	1	0,7099	8,889	8,889	N/A	6,468	20,637	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
15	1	15	2	1	0,7112	8,333	8,333	N/A	6,192	20,320	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
15	1	15	3	1	0,7127	7,778	7,778	N/A	5,913	20,047	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
15	1	15	4	1	0,7143	7,222	7,222	N/A	5,632	19,800	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
15	1	15	5	1	0,7158	6,667	6,667	N/A	5,349	19,573	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
15	1	15	6	1	0,7172	6,111	17,917	N/A	5,063	19,370	20,000	1	0	0,044676	-339,139496	0	93,08	0,00
15	1	15	7	1	0,7186	5,556	17,833	N/A	4,776	19,179	20,000	1	0	0,044764	-496,245361	0	96,99	0,00
15	1	15	8	1	0,7201	5,000	17,750	N/A	4,485	20,261	20,000	1	0	0,327896	-31298,37271	0	737,77	0,00
15	1	15	9	1	0,7201	5,000	17,750	N/A	4,485	20,210	20,000	1	0	0,327894	-12788,90735	0	737,76	0,00
15	1	15	10	1	0,7171	6,111	17,917	N/A	5,063	20,332	20,000	1	0	0,326533	-11262,01553	0	680,28	0,00
15	1	15	11	1	0,7133	7,222	18,083	N/A	5,632	20,560	20,000	1	0	0,324815	-9480,53994	0	622,56	0,00
15	1	15	12	1	0,7101	8,333	18,250	N/A	6,192	20,853	20,000	1	0	0,323358	-7820,654312	0	565,88	0,00
15	1	15	13	1	0,7070	10,000	18,500	N/A	7,014	21,241	20,000	1	0	0,301014	-6420,678865	0	451,52	0,00
15	1	15	14	1	0,7049	10,556	18,583	N/A	7,283	21,567	20,000	1	0	0,267679	-5073,937713	0	379,21	0,00
15	1	15	15	1	0,7042	11,111	18,667	N/A	7,550	21,675	20,000	1	0	0,299794	-4415,58281	0	399,73	0,00
15	1	15	16	1	0,7040	11,111	18,667	N/A	7,550	21,748	20,000	1	0	0,299737	-4643,368133	0	399,65	0,00
15	1	15	17	1	0,7048	10,556	18,583	N/A	7,283	21,777	20,000	1	0	0,300082	-5409,810748	0	425,12	0,00
15	1	15	18	1	0,7069	10,000	18,500	N/A	7,014	21,634	20,000	1	0	0,300955	-6507,214051	0	451,43	0,00
15	1	15	19	1	0,7084	9,444	18,417	N/A	6,742	21,343	20,000	1	0	0,301578	-7044,477478	0	477,50	0,00
15	1	15	20	1	0,7088	8,889	18,333	N/A	7,661	21,187	20,000	1	0	0,301788	-5880,587952	0	502,98	0,00
15	1	15	21	1	0,7094	8,889	18,333	N/A	7,661	21,072	20,000	1	0	0,302032	-5940,827545	0	503,39	0,00
15	1	15	22	0,25	0,7100	8,333	18,250	N/A	7,394	20,978	20,000	1	0	0,302285	-6029,064942	0	529,00	0,00
15	1	15	23	0,25	0,7107	8,333	18,250	N/A	7,394	20,897	20,000	1	0	0,302575	-6147,498611	0	529,51	0,00
15	1	15	24	0,25	0,7113	7,778	7,778	N/A	7,126	20,489	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00

Tabla 21: Recuperador de calor Invierno

															A3			
															CARGAS		CARGAS VENTILACION	
															CAL	REF	CAL	REF
															DEM [kWh/year] total			
															3924,57	18377,25	166,31	202,96
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido	2303,07	14666,90	7,22%	1,38%
227	8	15	1	1	4,2229	25,556	25,556	N/A	16,510	25,822	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	2	1	4,2428	23,889	23,889	N/A	15,910	25,751	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	3	1	4,2613	22,778	22,778	N/A	15,510	25,514	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	4	1	4,2790	21,667	21,667	N/A	15,100	25,179	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	5	1	4,2983	20,556	20,556	N/A	13,750	24,768	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	6	1	4,3168	19,444	19,444	N/A	14,260	24,310	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	7	1	4,3341	17,778	17,778	N/A	13,610	23,821	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	8	1	4,3315	18,333	18,333	N/A	13,830	23,542	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	9	0,25	0,6813	19,444	19,444	N/A	14,260	24,104	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	10	0,25	0,6774	21,111	21,111	N/A	14,890	24,563	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	11	0,25	0,6722	23,333	23,333	N/A	15,710	25,013	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	12	0,25	0,6663	26,111	26,111	N/A	16,700	25,548	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	13	0,25	0,6624	27,778	27,778	N/A	17,280	26,076	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	14	0,25	0,6602	28,889	28,889	N/A	17,660	26,539	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	15	0,25	0,6584	29,444	29,444	N/A	17,010	26,961	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00
227	8	15	16	0,25	0,6571	30,556	25,833	N/A	17,400	25,000	25,000	0	1	0,657091	0	64612,77661	0,00	547,58
227	8	15	17	0,5	0,6562	30,556	25,833	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656221	0	27800,06078	0,00	546,85
227	8	15	18	0,5	0,6561	30,556	25,833	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656105	0	25645,65193	0,00	546,75
227	8	15	19	0,5	0,6568	30,556	25,833	N/A	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656847	0	23642,91719	0,00	547,37
227	8	15	20	0,5	0,6587	29,444	25,667	N/A	17,850	25,000	25,000	0	1	0,658725	0	24458,76996	0,00	439,15
227	8	15	21	0,5	0,6617	27,778	25,417	N/A	17,280	25,000	25,000	0	1	0,661676	0	22606,48102	0,00	275,70
227	8	15	22	0,5	0,6646	26,667	25,250	N/A	16,900	25,000	25,000	0	1	0,664633	0	19878,1046	0,00	166,16
227	8	15	23	0,5	0,6673	25,556	25,083	N/A	16,510	25,000	25,000	0	1	0,667307	0	18285,63637	0,00	55,61
227	8	15	24	0,5	0,6700	24,444	24,444	N/A	16,110	25,508	0,000	0	0	0	0	0	0,00	0,00

Tabla 22: Recuperador de calor Verano

Caso 3: Módulo adiabático

																A3				
																CARGAS		CARGAS VENTILACION		
																CAL	REF	CAL	REF	
																DEM [kWh/year] total				
																3924,57	18377,25	166,31	-1437,90	
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod-cal	Tint-mod-ref	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido		2303,07	14666,90	7,22%	-9,80%
227	8	15	1	1	4,2229	25,556	25,556	25,556	0,000	16,510	25,822	0,000	0	0	0	1	0	0	0,00	0,00
227	8	15	2	1	4,2428	23,889	23,889	23,889	0,000	15,910	25,751	0,000	0	0	0	2	0	0	0,00	0,00
227	8	15	3	1	4,2613	22,778	22,778	22,778	0,000	15,510	25,514	0,000	0	0	0	3	0	0	0,00	0,00
227	8	15	4	1	4,2790	21,667	21,667	21,667	0,000	15,100	25,179	0,000	0	0	0	4	0	0	0,00	0,00
227	8	15	5	1	4,2983	20,556	20,556	20,556	0,000	13,750	24,768	0,000	0	0	0	5	0	0	0,00	0,00
227	8	15	6	1	4,3168	19,444	19,444	19,444	0,000	14,260	24,310	0,000	0	0	0	6	0	0	0,00	0,00
227	8	15	7	1	4,3341	17,778	17,778	17,778	0,000	13,610	23,821	0,000	0	0	0	7	0	0	0,00	0,00
227	8	15	8	1	4,3315	18,333	18,333	18,333	0,000	13,830	23,542	0,000	0	0	0	8	0	0	0,00	0,00
227	8	15	9	0,25	0,6813	19,444	19,444	19,444	0,000	14,260	24,104	0,000	0	0	0	9	0	0	0,00	0,00
227	8	15	10	0,25	0,6774	21,111	21,111	21,111	0,000	14,890	24,563	0,000	0	0	0	10	0	0	0,00	0,00
227	8	15	11	0,25	0,6722	23,333	23,333	23,333	0,000	15,710	25,013	0,000	0	0	0	11	0	0	0,00	0,00
227	8	15	12	0,25	0,6663	26,111	26,111	26,111	0,000	16,700	25,548	0,000	0	0	0	12	0	0	0,00	0,00
227	8	15	13	0,25	0,6624	27,778	27,778	27,778	0,000	17,280	26,076	0,000	0	0	0	13	0	0	0,00	0,00
227	8	15	14	0,25	0,6602	28,889	28,889	28,889	0,000	17,660	26,539	0,000	0	0	0	14	0	0	0,00	0,00
227	8	15	15	0,25	0,6584	29,444	29,444	29,444	0,000	17,010	26,961	0,000	0	0	0	15	0	0	0,00	0,00
227	8	15	16	0,25	0,6571	30,556	25,833	19,373	17,400	17,400	25,000	25,000	0	1	0,657091	16	0	64612,77661	0,00	-3697,23
227	8	15	17	0,5	0,6562	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656221	17	0	27800,06078	0,00	-3234,95
227	8	15	18	0,5	0,6561	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656105	18	0	25645,65193	0,00	-3234,38
227	8	15	19	0,5	0,6568	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656847	19	0	23642,91719	0,00	-3238,04
227	8	15	20	0,5	0,6587	29,444	25,667	19,589	17,850	17,850	25,000	25,000	0	1	0,658725	20	0	24458,76996	0,00	-3564,25
227	8	15	21	0,5	0,6617	27,778	25,417	18,855	17,280	17,280	25,000	25,000	0	1	0,661676	21	0	22606,48102	0,00	-4066,22
227	8	15	22	0,5	0,6646	26,667	25,250	25,250	16,900	16,900	25,000	25,000	0	1	0,664633	22	0	19878,1046	0,00	166,16
227	8	15	23	0,5	0,6673	25,556	25,083	25,083	16,510	16,510	25,000	25,000	0	1	0,667307	23	0	18285,63637	0,00	55,61
227	8	15	24	0,5	0,6700	24,444	24,444	24,444	0,000	16,110	25,508	0,000	0	0	0	24	0	0	0,00	0,00

Tabla 23: Módulo adiabático Verano 12h

																A3				
																CARGAS		CARGAS VENTILACION		
																CAL	REF	CAL	REF	
																DEM [kWh/year] total				
																3924,57	18377,25	166,31	-2295,98	
DIA AÑO	MES	DIA	HORA	Horario de ocupación	caudal (kg/s)	Text	Tint-mod-cal	Tint-mod-ref	Text_mod	Tbh	Tint	Timp	CAL-VEN	REF-VEN	Caudal corregido		2303,07	14666,90	7,22%	-15,65%
227	8	15	1	1	4,2229	25,556	25,556	25,556	0,000	16,510	25,822	0,000	0	0	0	1	0	0	0,00	0,00
227	8	15	2	1	4,2428	23,889	23,889	23,889	0,000	15,910	25,751	0,000	0	0	0	2	0	0	0,00	0,00
227	8	15	3	1	4,2613	22,778	22,778	22,778	0,000	15,510	25,514	0,000	0	0	0	3	0	0	0,00	0,00
227	8	15	4	1	4,2790	21,667	21,667	21,667	0,000	15,100	25,179	0,000	0	0	0	4	0	0	0,00	0,00
227	8	15	5	1	4,2983	20,556	20,556	20,556	0,000	13,750	24,768	0,000	0	0	0	5	0	0	0,00	0,00
227	8	15	6	1	4,3168	19,444	19,444	19,444	0,000	14,260	24,310	0,000	0	0	0	6	0	0	0,00	0,00
227	8	15	7	1	4,3341	17,778	17,778	17,778	0,000	13,610	23,821	0,000	0	0	0	7	0	0	0,00	0,00
227	8	15	8	1	4,3315	18,333	18,333	18,333	0,000	13,830	23,542	0,000	0	0	0	8	0	0	0,00	0,00
227	8	15	9	0,25	0,6813	19,444	19,444	19,444	0,000	14,260	24,104	0,000	0	0	0	9	0	0	0,00	0,00
227	8	15	10	0,25	0,6774	21,111	21,111	21,111	0,000	14,890	24,563	0,000	0	0	0	10	0	0	0,00	0,00
227	8	15	11	0,25	0,6722	23,333	23,333	23,333	0,000	15,710	25,013	0,000	0	0	0	11	0	0	0,00	0,00
227	8	15	12	0,25	0,6663	26,111	26,111	26,111	0,000	16,700	25,548	0,000	0	0	0	12	0	0	0,00	0,00
227	8	15	13	0,25	0,6624	27,778	27,778	27,778	0,000	17,280	26,076	0,000	0	0	0	13	0	0	0,00	0,00
227	8	15	14	0,25	0,6602	28,889	28,889	28,889	0,000	17,660	26,539	0,000	0	0	0	14	0	0	0,00	0,00
227	8	15	15	0,25	0,6584	29,444	29,444	29,444	0,000	17,010	26,961	0,000	0	0	0	15	0	0	0,00	0,00
227	8	15	16	0,25	0,6571	30,556	25,833	19,373	17,400	17,400	25,000	25,000	0	1	0,657091	16	0	64612,77661	0,00	-3697,23
227	8	15	17	0,5	0,6562	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656221	17	0	27800,06078	0,00	-3234,95
227	8	15	18	0,5	0,6561	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656105	18	0	25645,65193	0,00	-3234,38
227	8	15	19	0,5	0,6568	30,556	25,833	20,070	18,220	18,220	25,000	25,000	0	1	0,656847	19	0	23642,91719	0,00	-3238,04
227	8	15	20	0,5	0,6587	29,444	25,667	19,589	17,850	17,850	25,000	25,000	0	1	0,658725	20	0	24458,76996	0,00	-3564,25
227	8	15	21	0,5	0,6617	27,778	25,417	18,855	17,280	17,280	25,000	25,000	0	1	0,661676	21	0	22606,48102	0,00	-4066,22
227	8	15	22	0,5	0,6646	26,667	25,250	25,250	16,900	16,900	25,000	25,000	0	1	0,664633	22	0	19878,1046	0,00	-4409,84
227	8	15	23	0,5	0,6673	25,556	25,083	25,083	16,510	16,510	25,000	25,000	0	1	0,667307	23	0	18285,63637	0,00	-4760,01
227	8	15	24	0,5	0,6700	24,444	24,444	24,444	0,000	16,110	25,508	0,000	0	0	0	24	0	0	0,00	0,00

Tabla 24: Módulo adiabático Verano 24h

ANEXO D: RESULTADOS DE LA APLICACIÓN DE MEJORAS A LOS EDIFICIOS

1.4. Bloque plurifamiliar: Entremedianeras Sur

	A3			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	3924,57 KWh		18377,25 KWh	
Demanda meses estudiados	2303,07 KWh		14666,90 KWh	
Extracción Simple	1108,74 KWh	48,14%	1353,09 KWh	9,23%
Extracción Simple + control de presencia	796,98 KWh	34,61%	942,28 KWh	6,42%
Recuperador	166,31 KWh	7,22%	202,96 KWh	1,38%
Recuperador + control de presencia	119,55 KWh	5,19%	141,34 KWh	0,96%
Adiabático 12 h	N/A		-1437,90 KWh	-9,80%
Adiabático 24h	N/A		-2295,98 KWh	-15,65%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-1037,18 KWh	-7,07%

Tabla 25: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – A3

	B4			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	8330,48 KWh		27408,52 KWh	
Demanda meses estudiados	4418,38 KWh		21567,72 KWh	
Extracción Simple	2111,53 KWh	47,79%	2410,20 KWh	11,18%
Extracción Simple + control de presencia	1526,61 KWh	34,55%	1750,64 KWh	8,12%
Recuperador	316,73 KWh	7,17%	361,53 KWh	1,68%
Recuperador + control de presencia	228,99 KWh	5,18%	262,60 KWh	1,22%
Adiabático 12 h	N/A		-1305,07 KWh	-6,05%
Adiabático 24h	N/A		-2726,25 KWh	-12,64%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-952,88 KWh	-4,42%

Tabla 26: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – B4

	C2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	22461,63 KWh		8287,19 KWh	
Demanda meses estudiados	12019,93 KWh		6910,99 KWh	
Extracción Simple	5642,61 KWh	46,94%	483,30 KWh	6,99%
Extracción Simple + control de presencia	4043,22 KWh	33,64%	325,05 KWh	4,70%
Recuperador	846,39 KWh	7,04%	72,50 KWh	1,05%
Recuperador + control de presencia	606,48 KWh	5,05%	48,76 KWh	0,71%
Adiabático 12 h	N/A		-1146,22 KWh	-16,59%
Adiabático 24h	N/A		-1625,69 KWh	-23,52%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-817,66 KWh	-11,83%

Tabla 27: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – C2

	D2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	37581,28 KWh		8442,98 KWh	
Demanda meses estudiados	19241,76 KWh		6855,05 KWh	
Extracción Simple	9001,26 KWh	46,78%	499,79 KWh	7,29%
Extracción Simple + control de presencia	6420,02 KWh	33,37%	353,11 KWh	5,15%
Recuperador	1350,19 KWh	7,02%	74,97 KWh	1,09%
Recuperador + control de presencia	963,00 KWh	5,00%	52,97 KWh	0,77%
Adiabático 12 h	N/A		-1157,75 KWh	-16,89%
Adiabático 24h	N/A		-1641,55 KWh	-23,95%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-818,32 KWh	-11,94%

Tabla 28: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – D2

	E1			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	55205,64 KWh		2161,25 KWh	
Demanda meses estudiados	27477,11 KWh		1505,07 KWh	
Extracción Simple	12522,97 KWh	45,58%	80,73 KWh	5,36%
Extracción Simple + control de presencia	9030,60 KWh	32,87%	61,02 KWh	4,05%
Recuperador	1878,45 KWh	6,84%	12,11 KWh	0,80%
Recuperador + control de presencia	1354,59 KWh	4,93%	9,15 KWh	0,61%
Adiabático 12 h	N/A		-474,41 KWh	-31,52%
Adiabático 24h	N/A		-650,55 KWh	-43,22%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-323,87 KWh	-21,52%

Tabla 29: Cálculo de cargas – Entremedianeras Sur – E1

1.5. Bloque plurifamiliar: manzana

	A3			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	32054,94 KWh		67192,11 KWh	
Demanda meses estudiados	18506,94 KWh		56401,31 KWh	
Extracción Simple	7175,97 KWh	38,77%	4504,32 KWh	7,99%
Extracción Simple + control de presencia	5226,41 KWh	28,24%	3196,84 KWh	5,67%
Recuperador	1076,40 KWh	5,82%	432,87 KWh	1,09%
Recuperador + control de presencia	783,96 KWh	4,24%	262,60 KWh	0,77%
Adiabático 12 h	N/A		-4509,88 KWh	-8,00%
Adiabático 24h	N/A		-7662,48 KWh	-13,59%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-3269,20 KWh	-5,80%

Tabla 30: Cálculo de cargas – Manzana – A3

	B4			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	55520,94 KWh		97460,07 KWh	
Demanda meses estudiados	30666,23 KWh		79895,70 KWh	
Extracción Simple	12198,15 KWh	39,78%	7387,30 KWh	9,25%
Extracción Simple + control de presencia	8740,06 KWh	28,50%	5369,05 KWh	6,72%
Recuperador	1829,72 KWh	5,97%	1086,26 KWh	1,36%
Recuperador + control de presencia	1311,01 KWh	4,28%	792,65 KWh	0,99%
Adiabático 12 h	N/A		-4111,99 KWh	-5,15%
Adiabático 24h	N/A		-9516,81 KWh	-11,91%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-2941,43 KWh	-3,68%

Tabla 31: Cálculo de cargas – Manzana – B4

	C2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	114999,44 KWh		32234,36 KWh	
Demanda meses estudiados	62076,86 KWh		28784,50 KWh	
Extracción Simple	24075,29 KWh	38,78%	1820,29 KWh	6,32%
Extracción Simple + control de presencia	17368,20 KWh	27,98%	1247,12 KWh	4,33%
Recuperador	3611,17 KWh	5,82%	237,16 KWh	0,82%
Recuperador + control de presencia	2605,13 KWh	4,20%	161,28 KWh	0,56%
Adiabático 12 h	N/A		-4021,11 KWh	-13,97%
Adiabático 24h	N/A		-4782,24 KWh	-16,61%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-2884,64 KWh	-10,02%

Tabla 32: Cálculo de cargas – Manzana – C2

	D2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	177852,67 KWh		33733,20 KWh	
Demanda meses estudiados	94057,98 KWh		29004,03 KWh	
Extracción Simple	36694,07 KWh	39,01%	1906,68 KWh	6,57%
Extracción Simple + control de presencia	26417,16 KWh	28,09%	1360,46 KWh	4,69%
Recuperador	5504,11 KWh	5,85%	247,81 KWh	0,85%
Recuperador + control de presencia	3962,57 KWh	4,21%	176,74 KWh	0,61%
Adiabático 12 h	N/A		-4053,88 KWh	-13,98%
Adiabático 24h	N/A		-4902,82 KWh	-16,90%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-2859,99 KWh	-9,86%

Tabla 33: Cálculo de cargas – Manzana – D2

	E1			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	241635,99 KWh		10384,16 KWh	
Demanda meses estudiados	124325,31 KWh		8446,01 KWh	
Extracción Simple	46386,11 KWh	37,31%	501,67 KWh	5,94%
Extracción Simple + control de presencia	33465,90 KWh	26,92%	350,38 KWh	4,15%
Recuperador	6957,92 KWh	5,60%	49,49 KWh	0,59%
Recuperador + control de presencia	5019,89 KWh	4,04%	36,14 KWh	0,43%
Adiabático 12 h	N/A		-2075,19 KWh	-24,57%
Adiabático 24h	N/A		-2406,36 KWh	-28,49%
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		-1443,41 KWh	-17,09%

Tabla 34: Cálculo de cargas – Manzana – E1

1.6. Vivienda unifamiliar: pareado este

	A3			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	1468,41 KWh		2847,90 KWh	
Demanda meses estudiados	853,41 KWh		2412,94 KWh	
Extracción Simple	217,48 KWh	25,48%	140,86 KWh	5,84%
Extracción Simple + control de presencia	157,28 KWh	18,43%	101,24 KWh	4,20%
Recuperador	32,62 KWh	3,82%	18,71 KWh	0,78%
Recuperador + control de presencia	23,59 KWh	2,76%	13,25 KWh	0,55%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 35: Cálculo de cargas – Pareado este – A3

	B4			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	2720,42 KWh		3662,31 KWh	
Demanda meses estudiados	1461,88 KWh		3024,74 KWh	
Extracción Simple	369,99 KWh	25,31%	220,51 KWh	7,29%
Extracción Simple + control de presencia	264,45 KWh	18,09%	160,19 KWh	5,30%
Recuperador	55,50 KWh	3,80%	32,42 KWh	1,07%
Recuperador + control de presencia	39,67 KWh	2,71%	23,64 KWh	0,78%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 36: Cálculo de cargas – Pareado este – B4

	C2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	5369,66 KWh		1365,74 KWh	
Demanda meses estudiados	2897,70 KWh		1250,04 KWh	
Extracción Simple	697,02 KWh	24,05%	61,18 KWh	4,89%
Extracción Simple + control de presencia	498,36 KWh	17,20%	42,30 KWh	3,38%
Recuperador	104,55 KWh	3,61%	6,29 KWh	0,50%
Recuperador + control de presencia	74,75 KWh	2,58%	4,29 KWh	0,34%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 37: Cálculo de cargas – Pareado este – C2

	D2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	8014,04 KWh		1483,19 KWh	
Demanda meses estudiados	4255,55 KWh		1275,19 KWh	
Extracción Simple	1037,30 KWh	24,38%	64,98 KWh	5,10%
Extracción Simple + control de presencia	744,77 KWh	17,50%	46,58 KWh	3,65%
Recuperador	155,60 KWh	3,66%	6,95 KWh	0,55%
Recuperador + control de presencia	111,72 KWh	2,63%	5,06 KWh	0,40%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 38: Cálculo de cargas – Pareado este – D2

	E1			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	10518,83 KWh		418,39 KWh	
Demanda meses estudiados	5471,99 KWh		345,58 KWh	
Extracción Simple	1276,87 KWh	23,33%	20,38 KWh	5,90%
Extracción Simple + control de presencia	919,50 KWh	16,80%	14,04 KWh	4,06%
Recuperador	191,53 KWh	3,50%	1,09 KWh	0,32%
Recuperador + control de presencia	137,93 KWh	2,52%	0,92 KWh	0,27%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 39: Cálculo de cargas – Pareado este – E1

1.7. Vivienda unifamiliar: aislada este

	A3			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	2289,20 KWh		2605,36 KWh	
Demanda meses estudiados	1316,53 KWh		2207,72 KWh	
Extracción Simple	281,87 KWh	21,41%	126,44 KWh	5,73%
Extracción Simple + control de presencia	202,77 KWh	15,40%	90,81 KWh	4,11%
Recuperador	42,28 KWh	3,21%	17,65 KWh	0,80%
Recuperador + control de presencia	30,42 KWh	2,31%	12,62 KWh	0,57%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 40: Cálculo de cargas – Aislado este – A3

	B4			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	3867,98 KWh		3645,10 KWh	
Demanda meses estudiados	2087,17 KWh		3003,12 KWh	
Extracción Simple	451,96 KWh	21,65%	199,49 KWh	6,64%
Extracción Simple + control de presencia	320,37 KWh	15,35%	144,79 KWh	4,82%
Recuperador	67,79 KWh	3,25%	29,77 KWh	0,99%
Recuperador + control de presencia	48,06 KWh	2,30%	21,67 KWh	0,72%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 41: Cálculo de cargas – Aislado este – B4

	C2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	7669,36 KWh		1010,67 KWh	
Demanda meses estudiados	3933,03 KWh		21567,72 KWh	
Extracción Simple	834,24 KWh	21,21%	54,34 KWh	5,38%
Extracción Simple + control de presencia	600,29 KWh	15,26%	37,50 KWh	3,71%
Recuperador	125,14 KWh	3,18%	6,76 KWh	0,67%
Recuperador + control de presencia	90,04 KWh	2,29%	4,77 KWh	0,47%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 42: Cálculo de cargas – Aislado este – C2

	D2			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	11188,98 KWh		1196,26 KWh	
Demanda meses estudiados	5719,63 KWh		1021,99 KWh	
Extracción Simple	1202,70 KWh	21,03%	56,96 KWh	5,57%
Extracción Simple + control de presencia	868,12 KWh	15,18%	40,60 KWh	3,97%
Recuperador	180,40 KWh	3,15%	7,18 KWh	0,70%
Recuperador + control de presencia	130,22 KWh	2,28%	5,26 KWh	0,52%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 43: Cálculo de cargas – Aislado este – D2

	E1			
	Calefacción		Refrigeración	
Demanda anual	14226,61 KWh		300,07 KWh	
Demanda meses estudiados	7162,10 KWh		243,85 KWh	
Extracción Simple	1453,88 KWh	20,30%	18,28 KWh	7,50%
Extracción Simple + control de presencia	1051,92 KWh	14,69%	12,55 KWh	5,15%
Recuperador	218,08 KWh	3,04%	1,80 KWh	0,74%
Recuperador + control de presencia	157,79 KWh	2,20%	1,31 KWh	0,54%
Adiabático 12 h	N/A		N/A	
Adiabático 24h	N/A		N/A	
Adiabático 12h + control de presencia	N/A		N/A	

Tabla 44: Cálculo de cargas – Aislado este – E1