



**Universidad**  
Zaragoza

1542

## Trabajo Fin de Máster

# ANÁLISIS DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DEL BARRIO BALSAS DE EBRO VIEJO DE ZARAGOZA

Autor:

**Víctor Garralaga Marquesan**

Director:

Alberto Jañez Moran

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

Noviembre 2014



## RESUMEN

### ANÁLISIS DE LA REHABILITACIÓN ENERGÉTICA DEL BARRIO BALSAS DE EBRO VIEJO DE ZARAGOZA

La situación actual en la cual se unen los fenómenos de la obsolescencia progresiva del parque edificatorio construido hasta los 80 (previos a la NBE-CT-79), que supone algo más del 90% del parque edificatorio español; las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a este conjunto; y el aumento considerable y exponencial del precio de la energía eléctrica está derivando en la necesidad de acometer cambios en el modelo de las viviendas con el objetivo de satisfacer las necesidades actuales reduciendo al mínimo los factores de emisión de CO<sub>2</sub> y demanda energética. Para adecuar estos edificios antiguos a los estándares de eficiencia energética actuales los trabajos de rehabilitación energética podrían jugar un papel importante en revertir esta situación ya que en muchos casos suponen inversiones inferiores a la construcción de nuevas viviendas.

Atendiendo a esto, el objetivo de este trabajo consiste en el análisis del impacto en términos energéticos que conlleva acometer un proyecto de rehabilitación de una vivienda para adecuarla a la nueva normativa de eficiencia energética y ver cómo afecta al conjunto del barrio.

Para ello, se ha realizado la simulación de una zona del barrio zaragozano Balsas de Ebro Viejo mediante el software Design Builder, introduciendo en él tanto las características actuales como aquellas que se acometerían en un proceso de rehabilitación energética. Al llevar a cabo las simulaciones sobre diferentes edificios del barrio se tienen en cuenta las afecciones en forma de sombras que producen unos edificios sobre otros y como esto puede afectar en los diferentes parámetros de demanda y consumo energéticos. Dichas soluciones se centran en dos elementos que constituyen la envolvente térmica de los edificios, siendo los huecos y el aislamiento sobre ella.

Mediante la acometida de las soluciones propuestas para la rehabilitación energética de los edificios se han conseguido unos ahorros superiores al 75% para la demanda energética de calefacción suponiendo en número 4.877.678 kWh al año en término global del área 1 del barrio Balsas de Ebro Viejo de Zaragoza lo que supone no liberar a la atmósfera algo más de 3.300 t/año según los valores utilizados y que se muestran en la memoria.

En resumen, los resultados obtenidos han corroborado aquello que se esperaba poniendo de manifiesto que la rehabilitación energética de los edificios antiguos es una opción muy interesante y fiable de combatir el problema de la obsolescencia del parque edificatorio español así como de reducir las emisiones de CO<sub>2</sub>.



## Índice

1. Introducción .....	11
1.1 Eficiencia energética en el parque edificatorio residencial español.....	11
1.2 Eficiencia energética en el parque edificatorio residencial en Zaragoza .....	14
1.3 Alcance y objetivos.....	15
2. Estado del arte .....	16
2.1 Materiales aislantes en la envolvente.....	17
2.2 Acrystalamiento .....	19
3. Presentación del caso de estudio.....	22
3.1. Historia y localización de la zona motivo de estudio .....	22
3.2. Diagnóstico de la situación actual.....	23
3.2.1. Problemática de los edificios de gran antigüedad .....	26
3.2.2. Parámetros Constructivos Actuales .....	26
3.3. Descripción de las estrategias de rehabilitación.....	28
3.3.1. Parámetros Constructivos de la Rehabilitación .....	28
4. Desarrollo del estudio .....	31
4.1. Definición de las condiciones establecidas para la realización de las simulaciones .....	31
4.2. Simulación energética de los edificios .....	32
4.3. Tratamiento, análisis y discusión de los resultados obtenidos.....	35
5. Conclusiones.....	47
6. Referencias.....	49

## Índice de Anexos

Anexo I: Perfiles de uso introducidos en las simulaciones.....	61
Anexo II: Resultados de las simulaciones por edificio.....	67
Anexo III: Resultados de las simulaciones por planta .....	110

## Índice de Figuras

Figura 1: Zona1, delimitada, de Balsas de Ebro Viejo .....	22
Figura 2: Áreas en las que queda divida el barrio Balsas Ebro Viejo.....	23
Figura 3: Planta de la tipología de Bloque 1.....	24
Figura 4: Planta de la tipología de Bloque 2.....	24
Figura 5: Planta de la tipología Torre .....	25
Figura 6: Sección de la fachada exterior actual.....	26
Figura 7: Sección de la tabiquería actual.....	27
Figura 8: Sección de la cubierta inclinada actual .....	27
Figura 9: Sección de la fachada rehabilitada propuesta .....	28
Figura 10: Sección de la tabiquería rehabilitada propuesta .....	29
Figura 11: Sección de la cubierta inclinada rehabilitada propuesta .....	29
Figura 12: Edificios seleccionados para llevar a cabo las simulaciones .....	33

## Índice de Tablas

Tabla 1: Parque de viviendas y población. “Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial censo 2011 Parque edificatorio”. [1] .....	11
Tabla 2: Viviendas según tipo de vivienda y año de construcción del edificio. “Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial censo 2011 Parque edificatorio”. [1] .....	12
Tabla 3: Antigüedad de las viviendas según tipología en Zaragoza. “Censo de población y viviendas, 2011. Aragón. Municipio de Zaragoza”. [4] .....	14
Tabla 4: Características significativas de los materiales aislantes tradicionales. “State of art in thermal insulation materials and aims for future developments”. [27] .....	18
Tabla 5: Transmitancia térmica de los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1. “Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado”. [27] .....	20
Tabla 6: Características significativas de distintos tipos de acristalamiento. “A state-of-the-art review on innovative glazing technologies”. [28] .....	21
Tabla 7: Nº de viviendas total y por tipología que componen el área 1 del barrio Balsas Ebro Viejo de Zaragoza .....	25
Tabla 8: Cálculos de demanda energética de calefacción total que presenta el barrio en la situación inicial.....	45
Tabla 9: Cálculos de demanda energética de calefacción total que presenta el barrio en la situación final (rehabilitación conjunta) .....	46
Tabla 10: Ahorro frente a la situación inicial a nivel de barrio para la demanda de calefacción	46

## Índice de Gráficas

Gráfica 1: Impacto de mejoras energéticas sobre una vivienda media española. "Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020". [2] .....	12
Gráfica 2: Reducción respecto al caso base de las medidas energéticas de rehabilitación. "Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO <sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020". [2] .....	13
Gráfica 3: Valores de la carga térmica de calefacción para cada uno de los edificios de estudio .....	35
Gráfica 4: Valores de la carga térmica de refrigeración para cada uno de los edificios de estudio .....	37
Gráfica 5: Valores de la demanda energética de calefacción para cada uno de los edificios.....	38
Gráfica 6: Valores del consumo energético de calefacción para cada uno de los edificios usando energía eléctrica.....	39
Gráfica 7: Valores del consumo energético de calefacción para cada uno de los edificios usando energía térmica procedente de la combustión del gas natural .....	39
Gráfica 8: Valores de la demanda energética de refrigeración para cada uno de los edificios..	40
Gráfica 9: Valores del consumo energético de refrigeración para cada uno de los edificios .....	41
Gráfica 10: Valores de las emisiones de CO <sub>2</sub> para cada uno de los edificios usando energía eléctrica .....	42
Gráfica 11: Valores de las emisiones de CO <sub>2</sub> para cada uno de los edificios usando energía térmica procedente de la combustión del gas natural .....	42
Gráfica 12: % disminución de la carga térmica de calefacción según la acción de rehabilitación llevada a cabo.....	43
Gráfica 13: % disminución de la carga térmica de refrigeración según la acción de rehabilitación llevada a cabo.....	43
Gráfica 14: % disminuido de la demanda energética de calefacción.....	44
Gráfica 15: % ahorro del consumo energético de calefacción según la acción de rehabilitación llevada a cabo.....	44
Gráfica 16: % ahorro de emisiones de CO <sub>2</sub> según la acción de rehabilitación llevada a cabo ....	45



---

# **MEMORIA**

---



## **1. Introducción**

### **1.1 Eficiencia energética en el parque edificatorio residencial español**

En la actualidad España cuenta con un parque edificatorio residencial total de 25.208.623 viviendas [1]. Este número se ha alcanzado tras el período entre 2001-2011 en el cual las viviendas se incrementaron en un número de 4.262.069 [1], algo menos por debajo del crecimiento en población que aumento en prácticamente seis millones. Este dato es muy llamativo puesto que si se toma el porcentaje de crecimiento respecto al censo de 2001, el porcentaje de viviendas es superior con respecto al de habitantes (14,6 %) en seis puntos [1].

	Censo 2001	%	Censo 2011	%	Incremento	Variación Decenal (%)
<b>Población Total</b>	40.847.371		46.815.916		5.968.545	14,6
<b>Viviendas Totales</b>	20.946.554	100	25.208.623	100	4.262.069	20,3

Tabla 1: Parque de viviendas y población. “Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial censo 2011 Parque edificatorio”. [1]

Una vez indicado el número de viviendas actual, se va a mostrar la evolución que ha sufrido el parque edificatorio español en cuanto a materia de eficiencia energética se refiere.

Fue en 1981 cuando mediante el Real Decreto 2429/79 de 6 de julio entró en vigor la “Norma Básica de la edificación sobre Condiciones Térmicas de Edificios (NBE-CT-79)”, antes de la cual no había ninguna norma que se encargara de temas de esta índole. Esta se implantó para establecer unas condiciones térmicas mínimas a los edificios de nueva construcción con el objetivo de reducir el consumo energético [3]. El “Documento Básico de Ahorro de Energía (DB-HE)”, aprobado por el Real Decreto 314/2006 de 17 de marzo, lo sustituyó siendo renovado en alguno de sus aspectos en 2013 mediante la orden FOM/1635/2013 de 10 de septiembre.

Estos RD son consecuencia de la Directiva de Eficiencia Energética de Edificios cuyos requisitos de exigencia siguen un camino ascendente para conseguir una mayor eficiencia energética en los edificios.

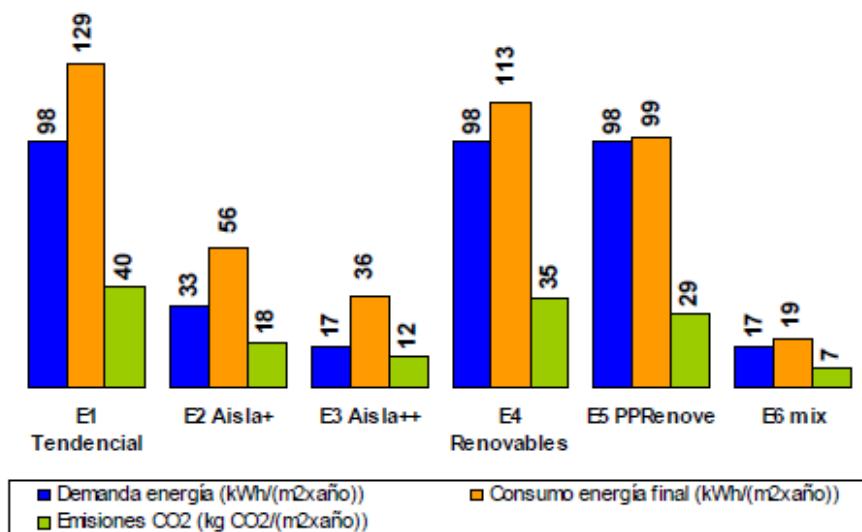
En la Tabla 2 se pueden ver las viviendas según el tipo de estas y su año de construcción, con lo que se pueden encuadrar dentro de las diferentes normas y documentos que se han comentado previamente:

	<b>Principales<sup>1</sup></b>	<b>%</b>	<b>Secundarias<sup>2</sup></b>	<b>%</b>	<b>Vacías</b>	<b>%</b>
<b>Total</b>	18.083.692	100	3.681.565	100	3.443.365	100
<b>Antes de 1900</b>	597.453	3,3	207.956	5,65	236.471	6,87
<b>De 1900-1920</b>	358.404	1,98	102.711	2,79	129.586	3,76
<b>De 1921-1940</b>	490.702	2,71	108.352	2,94	155.761	4,52
<b>De 1941-1950</b>	546.733	3,02	124.624	3,39	159.485	4,63
<b>De 1951-1960</b>	1.315.009	7,27	218.147	5,93	300.949	8,74
<b>De 1961-1970</b>	2.703.119	14,95	401.816	10,91	468.263	13,6
<b>De 1971-1980</b>	3.720.472	20,57	747.628	20,31	543.252	15,78
<b>De 1981-1990</b>	2.242.375	12,4	599.071	16,27	295.750	8,59
<b>De 1991-2001</b>	2.598.718	14,37	480.647	13,06	316.828	9,2
<b>De 2002-2011</b>	2.955.554	16,34	625.945	17	767.925	22,3
<b>No consta</b>	555.155	3,07	64.667	1,76	69.095	2,01

Tabla 2: Viviendas según tipo de vivienda y año de construcción del edificio. “Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial censo 2011 Parque edificatorio”. [1]

Como resumen de la tabla, decir que del total del parque edificatorio actual que existe en España el 92,1% poseen unos estándares energéticos bajos o muy bajos; y sólo el 7,9 % se encuentra bajo el DB-HE, y con ello con unos estándares de sostenibilidad y eficiencia energética aceptables.

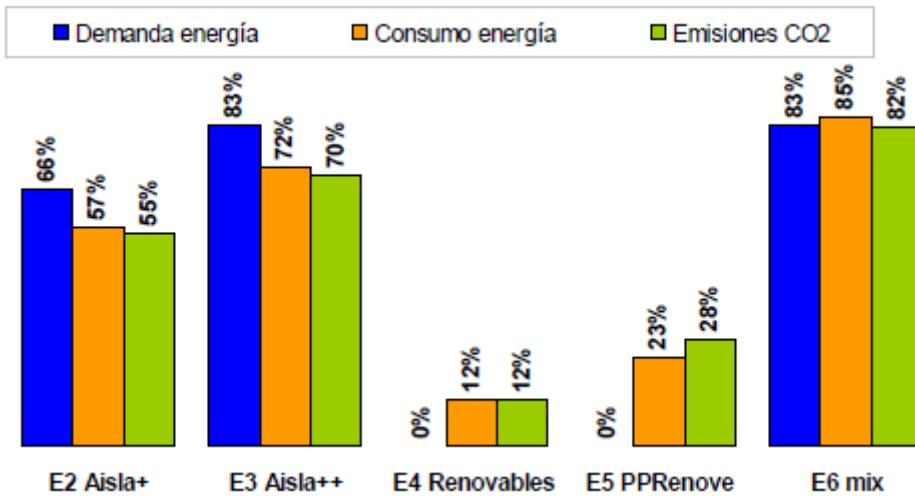
Esta situación deja ver el gran problema que tiene el parque edificatorio nacional en cuanto a la ineficiencia desde el punto de vista energético.



Gráfica 1: Impacto de mejoras energéticas sobre una vivienda media española. “Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020”. [2]

<sup>1</sup> Las viviendas principales son aquellas donde se reside de forma habitual por lo que se persigue un confort continuo

<sup>2</sup> Las viviendas secundarias son las no habituales, que son de paso, en las cuales se persigue un confort en momentos puntuales



Gráfica 2: Reducción respecto al caso base de las medidas energéticas de rehabilitación. “Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020”. [2]

Un ejemplo del papel que juega la eficiencia energética es recogido en las anteriores gráficas. En ellas quedan plasmados en primer lugar la variación en las demandas, consumos y emisiones de CO<sub>2</sub>; y en la segunda los ahorros en porcentaje que suponen respecto al escenario base, E1, distintas rehabilitaciones energéticas. Como se puede ver el escenario E6 mix es el que mayores ahorros producen respecto al caso base seguido del E3 y el E2. Pues bien los escenarios E2 y E3 son resultado de la modificación de su envolvente térmica en menor o mayor medida; mientras que el E6 mix introduce también generación de energía in situ mediante fuentes de energía renovables [2].

Tras ver esto queda claro que la importancia para mejorar la eficiencia energética y con ello reducir el parámetro de demanda reside en la mejora de la envolvente térmica. Al reducir la demanda energética se reducirán tanto el consumo energético como las emisiones de CO<sub>2</sub> asociadas a este, siempre y cuando los equipos utilizados posean las mismas características.

## **1.2 Eficiencia energética en el parque edificatorio residencial en Zaragoza**

La situación de Aragón con respecto al territorio español es algo peculiar ya que es una de las comunidades autónomas con mayor extensión (la cuarta), pero su número de habitantes es inferior al de otras lo que la convierte en una de las cuatro comunidades con menor densidad de población, y albergando en Zaragoza aproximadamente a algo más de la mitad de ella. Este hecho desemboca en que gran parte del parque edificatorio aragonés se encuentre en su capital.

Atendiendo como en el caso nacional a la antigüedad de las viviendas, la situación es similar a los datos que se mostraban en la Tabla 2, y que se pueden ver en la Tabla 3:

	vivienda principal	vivienda secundaria	vivienda vacía
<b>Total</b>	277.588	14.208	35.136
<b>Antes 1900</b>	1.729	260	695
<b>1900 a 1920</b>	1.345	138	594
<b>1921 a 1940</b>	4.242	478	1.869
<b>1941 a 1950</b>	7.997	562	2.038
<b>1951 a 1960</b>	27.874	1.551	4.879
<b>1961 a 1970</b>	55.598	2.825	9.062
<b>1971 a 1980</b>	61.374	3.252	6.417
<b>1981 a 1990</b>	38.533	2.216	2.383
<b>1991 a 2001</b>	39.234	1.836	3.399
<b>2002 a 2011</b>	30.872	849	3.636
<b>No consta</b>	8.790	240	163

**Tabla 3: Antigüedad de las viviendas según tipología en Zaragoza. “Censo de población y viviendas, 2011. Aragón. Municipio de Zaragoza”. [4]**

En el caso de la ciudad las viviendas que quedan fuera de los actuales valores que dicta la nueva norma son aproximadamente 260.000 unidades, lo que supone un porcentaje del 93 % del parque edificatorio zaragozano incluyendo todas aquellas construidas previas al año 2008, que deberían ser motivo de rehabilitación y adaptación energética.

De una manera u otra esto indica la ineficiencia energética general que sufre el parque edificatorio zaragozano en la actualidad y que es reflejo de lo que acontece también a nivel nacional.

### **1.3 Alcance y objetivos**

Como ha quedado demostrado a lo largo de estas primeras líneas el gran problema del parque edificatorio español es la ineficiencia en cuanto a la eficiencia energética se refiere. Se ha comprobado que la falta de una normativa que rigiera las condiciones térmicas de los edificios previas a los años ochenta ha derivado en un parque de viviendas que tiene que actualizarse para poder cumplir con los requisitos actuales, lo que supone un total del 93 % en Zaragoza y del 92 % en España.

En este contexto hay dos posibilidades para cambiar este hecho, siendo uno la renovación casi por completo del parque edificatorio mediante obra nueva o renovar el parque ya existente mediante la rehabilitación energética para adecuarlo a la nueva normativa. Obviamente la primera de ellas queda desestimada por innumerables razones, entre otras los costes que supondría la demolición de aquellas viviendas de gran antigüedad y la existencia de viviendas de reciente construcción que permanecen vacías; quedando la segunda que es la más óptima en estos momentos. Además mediante la rehabilitación energética de los edificios se reactivaría la actividad económica del sector de la construcción que tanto en España como en el resto de Europa está en sus horas bajas.

Una vez hecha una visión de conjunto, los principales objetivos del presente proyecto son:

- Llevar a cabo un estado del arte de los principales elementos que componen la envolvente térmica y su perfeccionamiento en el afán por mejorar la eficiencia energética en la edificación.
- Analizar tanto las cargas térmicas así como las demandas y consumos energéticos previos y posteriores a la rehabilitación que se producen en aquellos edificios residenciales pertenecientes a esa parte del parque edificatorio que ha quedado antiguo y obsoleto desde el punto de vista energético.

Para el primero de los objetivos ha sido consultada un buen número de bibliografía que queda recogida en el apartado de esta memoria; para el segundo se ha analizado un conjunto del barrio Balsas de Ebro Viejo de Zaragoza, el cual queda localizado y explicado en apartados posteriores, mediante la utilización de la herramienta Design Builder [5].

## **2. Estado del arte**

Desde hace unos años a esta parte se está llevando a cabo una apuesta fuerte en relación con la eficiencia energética en edificios pudiéndose ver en las innumerables publicaciones que abordan el tema bien sean normativas, artículos, estudios...

Algunas de ellas [6] tienen carácter divulgativo, mientras que otras [7, 8, 9, 10, 11] van dirigidas a los profesionales del sector indicándoles que tipo de soluciones se pueden incorporar tanto en lo referido a la obra nueva como al caso de la rehabilitación.

Para el primero de los casos, uno de los objetivos a conseguir es acercarse a aquellos edificios de energía cero, también llamados Zero Energy Buildings. Estos son definidos como aquellos que tienen una alto rendimiento energético, y cuya energía requerida es cercana a cero o muy baja al ser cubierta por energía procedente de fuentes renovables producidas in situ. Muchas de sus características para conseguirlo se relacionan con las medidas pasivas como la orientación, envolvente térmica, geometría... Dichas medidas consiguen reducir la demanda energética de las viviendas, pudiendo ser esta salvada mediante la utilización de energías renovables [18].

En el caso de la rehabilitación, el estudio de la *World Wildlife Fund for Nature* (WWF) [2] indica que el potencial en España para mejorar la eficiencia energética del parque edificatorio es muy alto por lo que muchas otras publicaciones [12, 13, 14, 15, 16, 17] se centran en este hecho.

La totalidad de las rehabilitaciones energéticas se centran en estrategias que persiguen ahorros máximos, en especial en calefacción, basándose principalmente en la consecución de un máximo en la estanqueidad de la envolvente apoyándose en una mejora del aislamiento y el acristalamiento.

Estos elementos son tratados en infinidad de artículos estudiando diferentes aspectos que son críticos para ellos como el espesor óptimo a utilizar en función de cada tipo de aislamiento [19, 20], los ahorros en gases de efecto invernadero que producen aún a pesar de los derivados en su fabricación [20,21, 22], o las pérdidas que se producen dependiendo del acristalamiento [23]...

Sin embargo, a pesar de que hay gran cantidad de documentación sobre los actuales ¿qué nos espera en un futuro? ¿Se van a desarrollar nuevos aislamientos, acristalamiento, marcos...? Las respuestas a estas preguntas se han intentado contestar en las siguientes líneas, plasmando la situación actual y futura en materia de nuevos aislamientos y acristalamientos.

## 2.1 Materiales aislantes en la envolvente

La gran oportunidad para mejorar la eficiencia energética en los edificios es la renovación o introducción de materiales aislantes en la envolvente térmica. La utilización de estos se puede dar tanto por el exterior como por el interior de tal manera que dependerá de la situación en la que se halle el edificio para ejecutarlo de una manera u otra. Además de estas, hay una tercera opción en la cual el material aislante es proyectado en cámaras de aire en muros de doble hoja.

El aislamiento térmico por el exterior suele realizarse en aquellas viviendas de régimen permanente (primera vivienda) puesto que de esta manera se aprovecha toda la inercia térmica del soporte sobre el que se asienta el aislamiento y actúa de manera más eficaz consiguiendo una reducción adicional en el consumo energético, además no afecta al ritmo de vida de los inquilinos y no se reduce la superficie útil de la vivienda.

Mientras que para el caso de la utilización de estos por el interior deriva en una reducción de la superficie de la vivienda e interfiere en el día a día de los usuarios, de ahí que sea más indicada para segundas viviendas o para casos en los que sólo se pretenda aislar una sola estancia [12].

En cuanto a los propios materiales aislantes se encuentran los que se han hecho ya tradicionales en la construcción y aquellos que están empezando a emergir. De los primeros cabe destacar los siguientes:

- **Lana mineral:** la cual incluye tanto la lana de vidrio como la lana de roca pudiéndose aplicar en relleno de marcos y cavidades o como parte de la envolvente térmica en fachadas, suelos y techos. Su conductividad térmica varía entre 0,03-0,04 W/ (mK) dependiendo esta de la temperatura, humedad y densidad.
- **Poliestiereno expandido (EPS):** se caracterizan por obtenerse en láminas y poderse cortar, de tal manera que se puede ajustar a cualquier lugar del edificio sin perder sus propiedades térmicas. Posee una conductividad similar a la anterior dependiendo de los mismos parámetros.
- **Poliestireno extruido (XPS):** tiene similares características al anterior, pudiéndose cortar también en función del lugar donde se vaya a utilizar sin perder sus propiedades térmicas.
- **Poliuretano (PUR):** suele emplearse como espuma de expansión para sellar puertas y ventanas, poseyendo una conductividad térmica inferior a las anteriores situándose entre 0,02-0,03 W/ (mK). Su gran inconveniente es el riesgo para la salud y para la estructura en caso de incendio.

	Densidad (kg/m <sup>3</sup> )	Conductividad térmica λ (W/m K)	T <sup>a</sup> Aplicación (°C)	Energía primaria embebida (kWh/m <sup>3</sup> )
<b>Lana de vidrio</b>	13 - 100	0,03 - 0,045	-100 - 500	90 - 430
<b>Lana de roca</b>	30 - 180	0,033 - 0,045	-100 - 75	110 - 660
<b>Poliestireno Expandido (EPS)</b>	18 - 50	0,029 - 0,041	-80 - 80	151 - 269
<b>Poliestireno Extruido (XPS)</b>	20 - 80	0,025 - 0,035	-60 - 75	85 - 114
<b>Espuma poliuretano</b>	30 - 80	0,02 - 0,027	-50 - 120	15,8 - 36,1

**Tabla 4: Características significativas de los materiales aislantes tradicionales. "State of art in thermal insulation materials and aims for future developments". [27]**

Como ya se ha comentado estos son los materiales aislantes tradicionales que ya se llevan tiempo utilizando en el sector de la edificación, los cuales y viendo lo que puede acontecer en el futuro quedarán relegados a un segundo plano.

Entre algunos de los materiales que pueden conllevar a este reciclado se encuentran los **vacuum insulation panels (VIP)** [26]. Estos consisten en un núcleo poroso envuelto en una barrera de aire o vapor la cual es sellada mediante una cubierta. El propósito del primero es aportar las propiedades aislantes y mecánicas, pudiendo darse núcleos de entre otros aerogel, poliuretano, fibra de vidrio...

El objetivo de la cubierta es proporcionar un recinto estanco para mantener un vacío en el núcleo del VIP. Estas se componen de tres láminas, la interna, que se encarga de sellar el núcleo; la intermedia, encargada de proteger contra el vapor de agua o la transmisión del aire a través de la cubierta; y la exterior, que protege frente a los daños producidos por el medio y que se centran en darle robustez al material.

La ventaja principal de estos es la conductividad térmica que varía entre 0,004 W/ (mK) y 0,008 W/ (mK) en su estado original o tras un periodo de vida de 25 años respectivamente, siendo entre 5 y 10 veces superiores a los que poseen los aislantes tradicionales. Además a esto hay que añadirle que estos valores son alcanzados utilizando espesores inferiores a los actuales, por lo que es un añadido a esa ventaja ya que esto deriva en un menor espesor de los muros obteniendo una mayor superficie y volumen útil pudiendo ser un gran reclamo su utilización en la rehabilitación energética de edificios. También tienen buenas propiedades como aislante acústico.

Sin embargo, no es todo oro lo que reluce, por lo que si todavía no está totalmente impulsado su uso en el sector se debe al gran interrogante que surge en cuanto a su periodo de vida útil. Este hecho se deriva de la fragilidad relacionada con sus propiedades térmicas, ya que por causas como un simple pierde gran parte de ellas [26].

Otro de los materiales que suplirían a los actuales son los **aerogeles**. Estos podrían alcanzar valores (a 50mbar) similares a los que alcanzan los VIP, pero en la actualidad los valores experimentales obtenidos han sido inferiores situándose entre los 0,013-0,014 W/ (mK) a presión ambiente. También es verdad que son valores entre 2 y 3 veces inferiores a los aislantes tradicionales por lo que parecen una apuesta segura para el futuro sabiendo además que pueden ser producidos tanto con características opacas, translúcidas o transparentes. La principal de sus desventajas y como en muchos casos que están todavía en fase experimental son sus altos costes de producción a lo que se le añade una baja resistencia a las fuerzas de tracción. [25]

A parte de estos citados hay otros en fase de experimentación como **los materiales de cambio de fase** [25], aquellos relacionados con **la nanotecnología** [25] y otros muchos que quizás no tarden mucho tiempo en ver la luz comercialmente siendo utilizados sobre todo en los procesos de rehabilitación energética de edificios.

## 2.2 Acristalamiento

Los acristalamientos juegan un papel muy importante en los edificios, ya que suponen unas pérdidas de entre el 30-40 % de aquellas que se producen a través de la envolvente térmica.

Esto es debido a los valores de transmitancia térmica que poseen los materiales utilizados, y que quedan muy por detrás comparándolos con los valores que poseen el resto de materiales aislantes utilizados en la envolvente. En la actualidad los estudios se centran en conseguir que los valores de transmitancia de cada uno de los elementos que lo forman (marco y cristal) se reduzcan por separado limitando así las pérdidas del conjunto.

Los marcos utilizan diferentes materiales, siendo los más habituales los siguientes:

- **Metálico:** fabricados en aluminio o acero con diferentes acabados (lacados, foliados imitando madera...) suelen ocupar un 25 % del hueco en función de los sistemas de cierre y apertura.
- **Metálico con Rotura de Puente Térmico (RPT):** al marco metálico se le incorporan uno o varios elementos separadores de baja conductividad térmica que separan los diferentes componentes de la carpintería reduciendo de esta manera el paso de energía a su través.
- **Madera:** son perfiles macizos de madera cuya naturaleza alveolar les proporciona una baja conductividad térmica favoreciendo el aislamiento térmico. Su desventaja reside en el mantenimiento, aunque en la actualidad se ha subsanado gracias a productos que hay en el mercado y evitan su deterioro.
- **PVC:** perfiles normalmente huecos de este material el cual tiene un buen comportamiento térmico. Su participación en el hueco es elevada, lo que unido a sus

buenas propiedades térmicas deriva en un buen comportamiento del conjunto marco + acristalamiento.

Material del Perfil	Transmitancia Térmica U (W/m <sup>2</sup> K)
<b>Metálico</b>	5,7
<b>Metálico RPT (4mm ≤ d ≤ 12mm)</b>	4
<b>Metálico RPT ≥ 12mm</b>	3,2
<b>Madera dura (<math>\rho = 700 \text{ kg/m}^3</math> y 60mm espesor)</b>	2,2
<b>Madera blanda (<math>\rho = 500 \text{ kg/m}^3</math> y 60mm espesor)</b>	2
<b>Perfiles huecos de PVC (2 cámaras)</b>	2,2
<b>Perfiles huecos de PVC (3 cámaras)</b>	1,8

**Tabla 5: Transmitancia térmica de los perfiles según la norma UNE-EN ISO 10077-1. “Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado”. [27]**

Las actuales investigaciones en lo que a marcos se refiere, se centran en la obtención de materiales con mejores propiedades térmicas como se muestra en [23], así como en el desarrollo y dar salida en el mercado a tipologías de ventanas mixtas madera-aluminio, poliuretano con núcleo metálico, metálicas con RPT llenas de espuma aislante... [27]

El acristalamiento posee tres características principales, que son:

- Coeficiente de transferencia de calor (W/m<sup>2</sup> K)
- Coeficiente de ganancia solar (g)
- Transmisividad a la luz (TL)

Dependiendo del valor de estas el vidrio actuará de una manera u otra perjudicando o beneficiando la obtención de unas condiciones óptimas de confort en la vivienda dentro de sus posibilidades. Alguna de las tecnologías utilizadas en la actualidad o que lo serán en un futuro son nombradas a continuación:

- **Acristalamiento multicapa:** como su propio nombre indica es una combinación de capas de vidrio con una capa entre ellas de aire, Argón o Kriptón. La conductividad térmica varía en función de las capas de vidrio y la de gas que queda entre ellas. EL Kriptón es el que menor conductividad térmica tiene de los tres, por el contrario es el más caro. Actualmente este tipo de acristalamiento es el más comercializado en el mercado.
- **Suspended films:** pueden ser considerados como vidrios artificiales cuyo objetivo es incrementar la resistencia térmica de la ventana reduciendo su peso, quedando las películas situadas entre los dos vidrios (exterior e interior). Dichas películas tienen valores de transmitancia térmica competitivos, pero poseen un bajo factor solar y transmisividad a la luz solar.

- **Acristalamiento fotovoltaico:** posee las ventajas de mitigar la emisión de gases de efecto invernadero y la de producción eléctrica. Se basa en la imprimación de una capa de nanopartículas de silicona, sobre la ventana, las cuales se comportan como células de PV. Esta es una solución para el sector residencial puesto que los vidrios PV convencionales se basan en células de PV opacas haciéndolas ineficientes para el sector residencial.

Estos sólo son algunos de los tipos de acristalamiento que hay en el mercado, y otros como son los basados en aerogel (de sílice comúnmente), materiales de cambio de fase (PCMs), smart glazing, vacuum glazing... y que se pueden consultar en [23, 24, 29] dónde se lleva a cabo un repaso del estado del arte más exhaustivo.

<b>Tipo de Vidrio</b>	<b>Producto</b>	<b>U (W/m<sup>2</sup> K)</b>	<b>g</b>	<b>TL</b>
<b>Multicapa</b>	AGC GlassUK TOP N+	0,7	0,5	0,48
	Guardian Flachglas GmbH ClimaGuard N3	0,72	0,49	0,54
<b>Suspended Films</b>	INTERPANE Glas Industrie AG Iplus 3CL	0,72	0,53	0,55
	1125 Picture window	0,28	0,17	0,23
<b>Vacuum Glazing</b>	SPACIA-21	0,7	0,32	0,53
<b>Smart glazing</b>	Classic TM	0,62	0,38-0,05	0,52-0,03
<b>PV glazing</b>	Voltarluz-ASI-T-ISO-E	1,1		0,1

Tabla 6: Características significativas de distintos tipos de acristalamiento. “A state-of-the-art review on innovative glazing technologies”. [28]

### **3. Presentación del caso de estudio**

#### ***3.1. Historia y localización de la zona motivo de estudio***

Tras las guerras acontecidas en la primera mitad del siglo XX y sobre todo en España tras la guerra civil la vivienda se convirtió en ente de primera necesidad. Además, la migración de la gente procedente de zonas rurales a las ciudades y el aumento de las grandes urbes en cuanto a industrialización llevaron a la aparición de leyes que incentivaban a la construcción de nuevas viviendas. Así pues, la construcción de estas se rigió por la rapidez y sencillez en el uso de materiales, instalaciones... dando lugar a viviendas cuyas características térmicas no eran las mejores y que a lo largo de los años se han ido quedando obsoletas.

El barrio Balsas de Ebro Viejo nació como proyecto en el año 1964, siendo construido entre 1964-1975 por la Obra Sindical del Hogar y de Arquitectura que fue la gran promotora de carácter no lucrativo que se dio en Zaragoza por aquel entonces. Construcción propia de los años 70 posee un total de 126 fincas, lo que significan 1260 viviendas, repartidas en tres tipos de edificios: planta baja, planta baja + 4 alturas y planta baja + 11 alturas.

Este se sitúa en la margen izquierda del Ebro, en la zona del Arrabal y el Picarral, junto al parque Tío Jorge y cercano a la salida que lleva a la autovía A-23. [29]

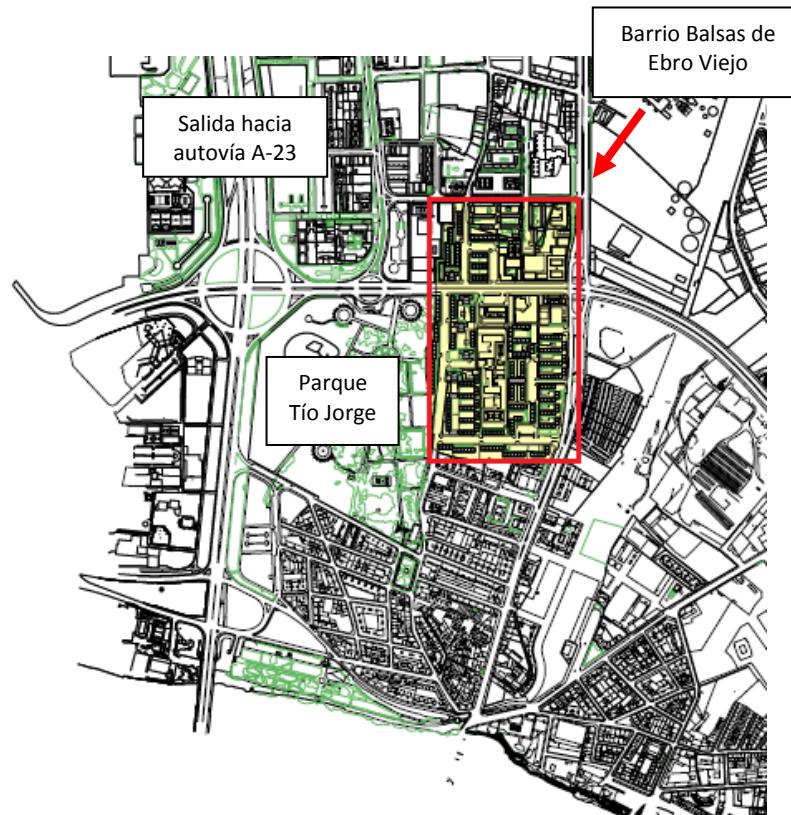


Figura 1: Zona1, delimitada, de Balsas de Ebro Viejo

El barrio se puede dividir en 4 áreas, Figura 2, perteneciendo el conjunto estudiado al área 1. En esta área se dan tres tipologías de vivienda que se mostrarán en el siguiente apartado.

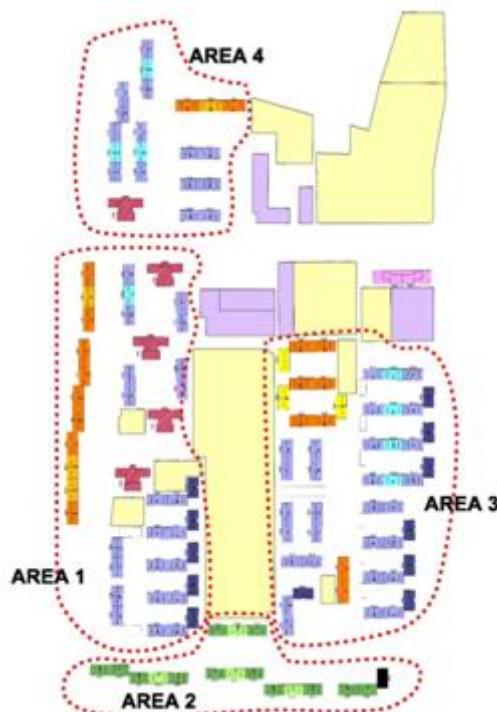


Figura 2: Áreas en las que queda dividida el barrio Balsas Ebro Viejo

### **3.2. Diagnóstico de la situación actual**

El barrio Balsas de Ebro Viejo y más concretamente la zona motivo de estudio posee tres tipologías de edificios distintas. Estas tipologías quedan repartidas en dos tipos de bloques, cuyas plantas son distintas, y una tipología torre. Los dos bloques tienen una altura de 5 plantas, mientras que la torre posee una altura de 11 plantas además de una planta.

El primero de los bloques, a partir de ahora “Bloque 1” (queda diferenciado en la Figura 2 ¡Error! No se encuentra el origen de la referencia. por el color azul), posee dos viviendas por planta por lo que hacen un total de 10 viviendas por bloque. Cada una de ellas posee una superficie de  $67,5 \text{ m}^2$  en la que quedan encuadradas las diferentes estancias que componen la vivienda, siendo estas una cocina, un comedor, un baño y una habitación (en ella se han englobado todas las habitaciones). A continuación se puede ver como ha quedado la planta del citado bloque al introducirlo en el programa de simulación.

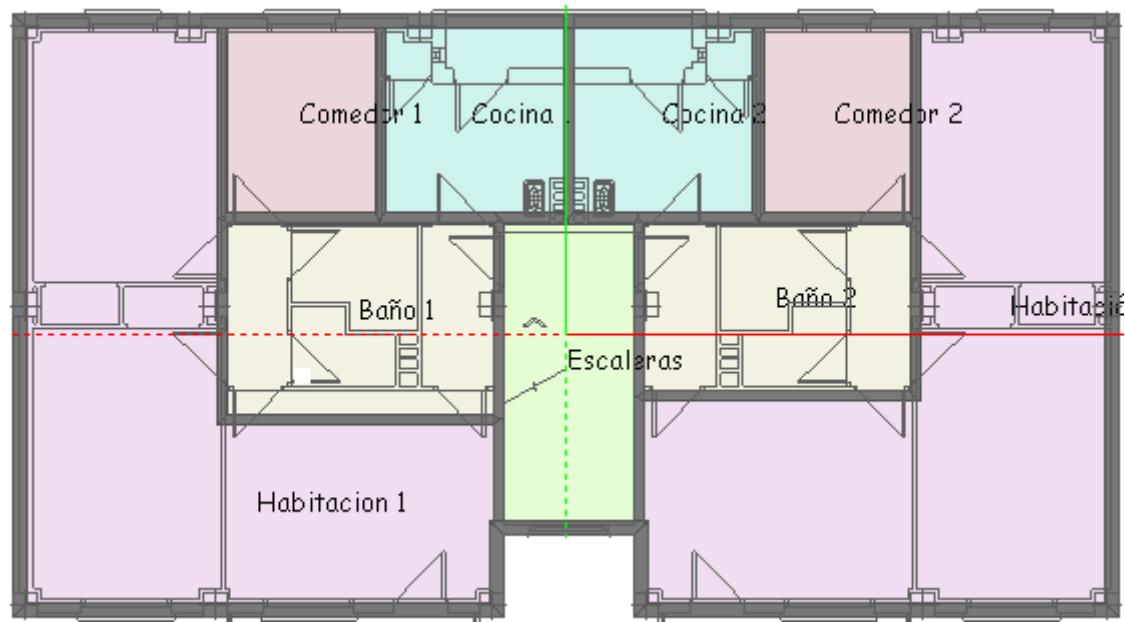


Figura 3: Planta de la tipología de Bloque 1

Este tipo de bloque se repite dando lugar a bloques con dos portales, con tres portales y como se puede ver en la Figura 2 también en bloques en “L”, estos últimos constituidos por un bloque de dos portales y uno perpendicular a estos con un solo portal.

El segundo de los bloques, a partir de ahora “Bloque 2”, posee al igual que en el caso anterior dos viviendas por planta por lo que hacen un total de 10 viviendas por bloque. Cada una de ellas tiene una superficie de 80 m<sup>2</sup> en la que quedan encuadradas las estancias que la componen, siendo las mismas que en el caso anterior. Como se puede ver a continuación la distribución de las distintas estancias difiere de la planta que tiene el “Bloque 1”.

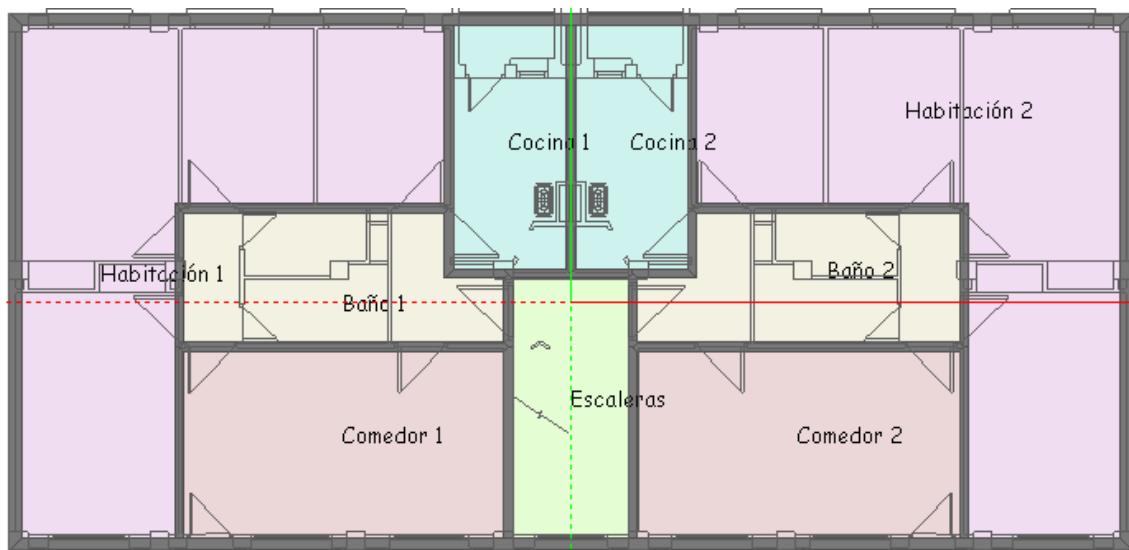


Figura 4: Planta de la tipología de Bloque 2

En este caso y a diferencia del anterior esta tipología coincide con los bloques de color naranja que aparecen en la Figura 2 y como se puede ver en ella, la repetición de los bloques permite que haya edificios de 2, 3 y hasta 4 portales.

Por último la tipología de torre, a partir de ahora “Torre” y que se puede ver de color rojo en la Figura 2, tiene como superficie útil 80 m<sup>2</sup> y el total de viviendas en cada una de las torres asciende a 45. Posee las mismas estancias que las dos tipologías citadas con anterioridad pudiéndose ver en la Figura 5:

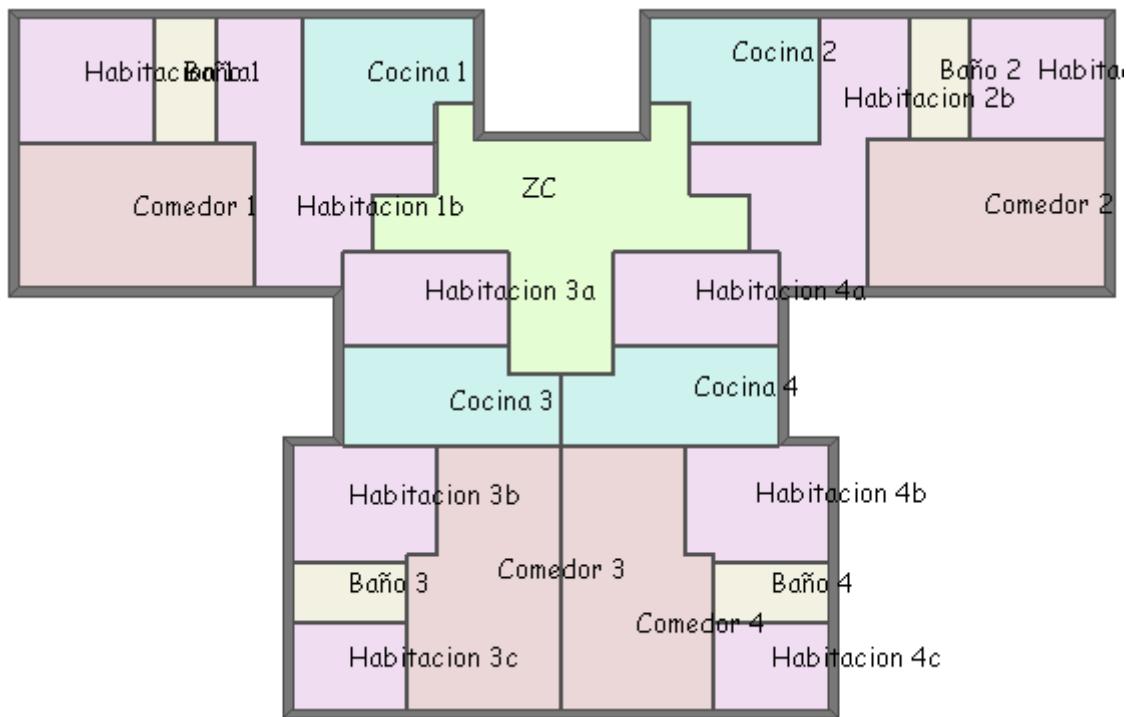


Figura 5: Planta de la tipología Torre

A modo de resumen se muestra la siguiente tabla:

Tipología Edificio	Nº de plantas	Viviendas por planta	Nº edificios por tipología	Vivienda portero por edificio	Total viviendas por tipología
<b>Bloque 1</b>	5	2	28	0	280
<b>Bloque 2</b>	5	2	11	0	110
<b>Torre</b>	11	4	4	1	180
			<b>Nº total de viviendas</b>		<b>570</b>

Tabla 7: Nº de viviendas total y por tipología que componen el área 1 del barrio Balsas Ebro Viejo de Zaragoza

### 3.2.1. Problemática de los edificios de gran antigüedad

Una vez descritas las distintas tipologías de plantas que se dan en la zona referente al proyecto se debe de llevar a cabo el estudio de la situación actual de las viviendas y de los problemas que acontecen en ellas. El hecho de realizar este estudio permitirá que más adelante se puedan centrar los esfuerzos en aquellos aspectos que resulten más problemáticos, dando soluciones más eficaces y ajustadas a esas necesidades.

Los problemas asociados a los edificios de larga vida pueden ser varios, siendo en el caso del conjunto estudiado del barrio Balsas de Ebro Viejo de índole funcional originados en fachadas y cubiertas.

**Los problemas de funcionalidad:** se relacionan con el mal estado o deterioro de **cubiertas**, debido a humedades motivadas por tejas movidas, rotas o deterioradas, la inexistencia de aislamiento generalizada; **fachadas**, por la degradación de los revocos, falta de aislamiento tanto térmico como acústico, mala calidad y antigüedad de carpinterías...; **plantas bajas**, debido a la existencia de humedades motivadas por roturas de instalaciones, viviendas bajo rasante sobre solera sin cámara aislada o ventilada, falta de aislamiento en forjado de planta baja en edificios con sótano...; **instalaciones**, antiguas y no adecuadas a las exigencias actuales; **zonas comunes**, falta de locales de servicios de basura, limpieza...; **barreras arquitectónicas**; **seguridad frente a siniestros**. [29]

### 3.2.2. Parámetros Constructivos Actuales

Los parámetros constructivos que han sido introducidos en el software de cálculo son compartidos por las distintas tipologías de edificios presentadas.

Los aspectos que hay que definir de una manera más concreta son la fachada exterior, la tabiquería, cubierta y ventanas para poder obtener de esta manera unos resultados más ajustados a la realidad de los edificios.

a) La fachada exterior posee una transmitancia térmica de  $1,701 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  y queda compuesta por 4 capas tal y como se puede ver en la Figura 6.

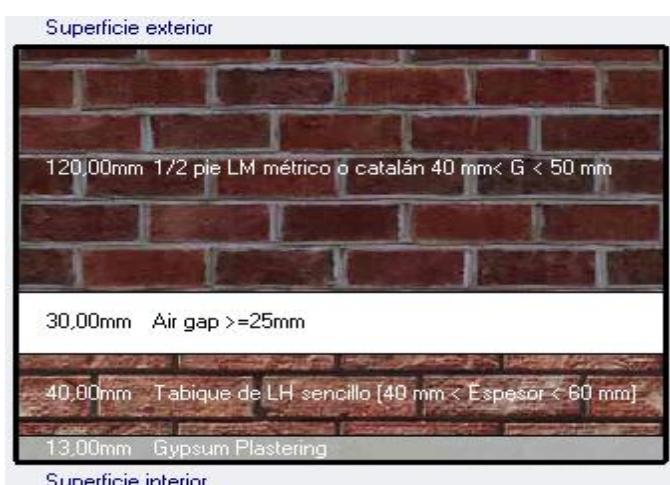


Figura 6: Sección de la fachada exterior actual

**b)** La tabiquería posee una transmitancia térmica de  $2,32 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  y en este caso queda compuesta por 3 capas que quedan definidas de la siguiente manera.



Figura 7: Sección de la tabiquería actual

**c)** La cubierta, que para el caso de estos edificios es desocupada e inclinada, tiene una transmitancia térmica de  $2,075 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$  y queda compuesta por 6 capas tal y como se puede ver en la Figura 8.

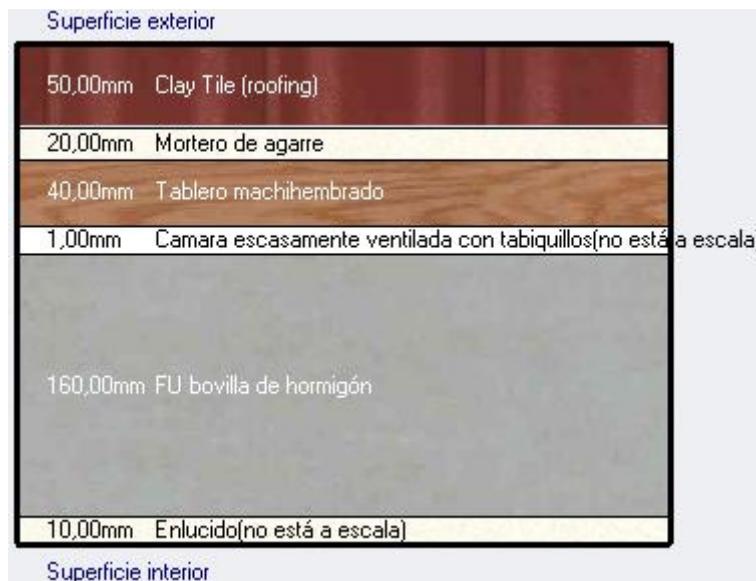


Figura 8: Sección de la cubierta inclinada actual

**d)** Para las ventanas se han definido carpinterías de aluminio sin rotura de puente térmico con un valor de transmitancia térmica de  $5,88 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ . En cuanto a los vidrios se ha definido un vidrio sencillo de 6 mm de espesor con las siguientes características:

- $U = 5,77 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
- Factor solar ( $g$ ) = 0,81
- Transmisividad lumínica (TL) = 0,88

### **3.3. Descripción de las estrategias de rehabilitación**

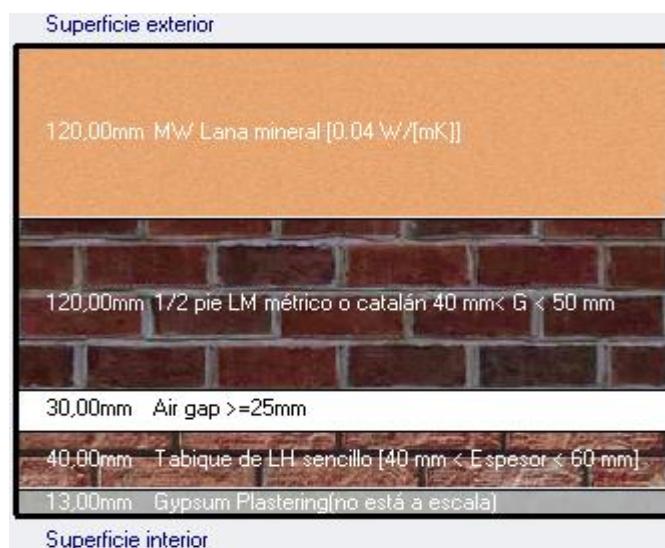
Al igual que los parámetros constructivos actuales, estos han sido propuestos para que también sean compartidos por las tres tipologías de edificios que se están estudiando. Por lo tanto la rehabilitación se va a centrar en corregir las deficiencias que se dan en la fachada, tabiquería interior, cubierta y ventanas.

En el proceso de rehabilitación se ha tenido en cuenta los datos marcados por el código técnico de la edificación (CTE) dentro del documento básico de ahorro de energía (DB-HE) en lo referido a todo aquello relacionado con las transmitancias térmicas mínimas que deben poseer los distintos elementos constructivos de la envolvente térmica.

Con estas propuestas lo que se pretende es equiparar, en la medida de lo posible, los edificios motivo de estudio a aquellos de nueva construcción que están bajo las normas de eficiencia energética del DB-HE. Por ello las medidas seleccionadas persiguen la consecución de la máxima eficiencia energética mediante la utilización de mejores aislantes consiguiendo una mayor estanqueidad, repercutiendo en un menor consumo energético.

#### **3.3.1. Parámetros Constructivos de la Rehabilitación**

a) La fachada rehabilitada propuesta queda conformada por 5 capas, una más que en el caso de la fachada actual, y con una transmitancia térmica de 0,279 W/ m<sup>2</sup> K. La disposición de las diferentes capas que la conforman se encuentra en la siguiente figura.



**Figura 9: Sección de la fachada rehabilitada propuesta**

Para el proceso de rehabilitación de la fachada se ha optado por colocar el material aislante por el exterior de la actual fachada, es decir, mediante una solución SATE (sistema de aislamiento térmico exterior). Para ello se ha utilizado una capa de 12 cm de lana mineral cuya conductividad térmica es de 0,04 W/ m K. Esta capa de aislante queda bajo una fachada ventilada de placas de porcelánico, protegiéndola así de las inclemencias del tiempo.

**b)** La tabiquería elegida se compone de nuevo de 5 capas, dos más que en el caso de la tabiquería actual, y con una transmitancia térmica de  $0,841 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ . Para obtener esta transmitancia se ha introducido una fina capa de poliestireno expandido, de 1,1 cm de espesor y con una conductividad de  $0,029 \text{ W/ m K}$ , entre las capas de enlucido y LHD.



Figura 10: Sección de la tabiquería rehabilitada propuesta

**c)** La cubierta inclinada se incrementa con una capa de material aislante situada entre la capa de tejas y la capa de mortero de agarre que se podía ver en la Figura 8. El material aislante seleccionado es el XPS expandido con dióxido de carbono CO<sub>2</sub> que posee una conductividad térmica de  $0,038 \text{ W/m K}$ . De dicho material se va a instalar una capa de 8,5 cm de espesor lo que dará lugar a conseguir una transmitancia del conjunto de la cubierta de  $0,368 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ . También decir que las tejas serían renovadas aprovechando que hay que quitarlas para aplicar la capa del material aislante, siendo seleccionadas unas de las mismas características.

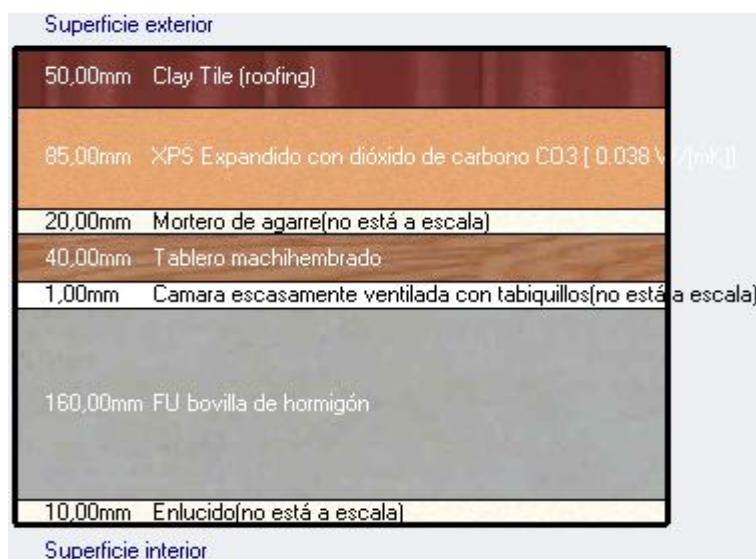


Figura 11: Sección de la cubierta inclinada rehabilitada propuesta

d) Para las ventanas se han definido carpinterías de aluminio con rotura de puente térmico con un valor de transmitancia térmica de  $4,72 \text{ W/m}^2\text{K}$ . En cuanto a los vidrios se ha definido un vidrio doble 4-12-4 con las siguientes características:

- $U = 1,96 \text{ W/m}^2\text{K}$
- Factor solar ( $g$ ) = 0,624
- Transmisividad lumínica (TL) = 0,744

## **4. Desarrollo del estudio**

### ***4.1. Definición de las condiciones establecidas para la realización de las simulaciones***

Para llevar a cabo el desarrollo del estudio se ha utilizado el software Design Builder. Los datos que se muestran a continuación juegan un papel muy importante en las simulaciones que se llevan a cabo con posterioridad, dando lugar a los resultados que se tratarán y discutirán en este mismo apartado de la memoria.

**Localización:** como ya se ha comentado con anterioridad el conjunto de edificios estudiado se sitúa en la ciudad de Zaragoza, por ello se ha introducido en el apartado de datos climáticos solicitados por el programa los que corresponden a dicha ciudad y que posee internamente el software procedentes de la *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers* (ASHRAE).

**Utilización de plantillas de actividad:** se han utilizado dos plantillas diferentes de actividad o también llamadas de perfil de uso. Una pretende plasmar la actividad que se da en la actualidad en cualquiera de las viviendas del barrio, mientras que en la otra se introducen datos procedentes del código técnico de la edificación (CTE) ajustando de esta manera los resultados a los que se esperan al cumplir la normativa existente. La selección de ambas se ha realizado con el objetivo de ver las diferencias que existen entre ambas y como el perfil de uso de una vivienda repercute en ella. Los datos referentes a dichas plantillas pueden ser consultadas en el ANEXO I.

**Utilización de plantillas de cerramientos:** para este caso se han definido 4 plantillas en función de la situación actual y de las mejoras presentadas.

- Cerramientos actuales Balsas Ebro Viejo (1): en esta plantilla se han especificado los cerramientos tal y como son en la actualidad, los cuales han sido definidos en el apartado 3.2 de la presente memoria. El dato más característico de esta plantilla al margen de las peculiaridades de cada uno de los elementos constructivos del edificio es el valor de las infiltraciones. A dicho parámetro se le ha asignado un valor de 5 ren/h [30].
  
- Cerramientos mejora acristalamiento (2): esta plantilla posee los cerramientos originales del edificio, sin embargo en la pestaña “Aberturas” se han modificado los valores de las zonas acristaladas tal y como se ha comentado también en el apartado 3.2. En este caso el valor asignado al parámetro de infiltraciones ha sido de 3,8 ren/h, ya que se ha supuesto que las pérdidas por elementos acristalados podrían ascender al 30% de las pérdidas a través de la envolvente [23]. Así pues teniendo en cuenta que el valor mínimo que se le dará a dichas infiltraciones es de 1 ren/h, el 30% de 4 (diferencia entre 5 ren/h y 1 ren/h) es 1,2 obteniéndose el valor que ya se ha indicado de 3,8 ren/h.

- Modificación de los cerramientos (3): en esta plantilla se ha llevado a cabo la introducción de los nuevos cerramientos que han sido nombrados en el apartado 3.2. Debido a que la renovación de los elementos aislantes juega un mayor papel en la eficiencia energética de los edificios, se le ha supuesto que su modificación deriva en unos ahorros del 70%. Debido a ello el valor dado al parámetro de infiltraciones en este caso ha sido 2,2 ren/h.
  
- Cerramientos totalmente rehabilitados (4): se ha creado una plantilla nueva en la que aparecen los mismos cerramientos que en el caso anterior a lo que se le añade en la pestaña “Aberturas” la modificación relacionada con las zonas acristaladas. Como consecuencia de aunar ambas soluciones en una misma, el valor del parámetro de infiltraciones utilizado en ella es de 1 ren/ h [30].

Como se ha podido ver las actuaciones de rehabilitación se centran en dos elementos de la envolvente térmica, los huecos y el material aislante. La selección de estas se ha hecho tras leer un gran número de bibliografía y ver que los elementos que más influían en los ahorros de demanda y consumo energético eran estos. Así mismo el tipo de aislamiento y su espesor han sido elegidos con el objetivo de cumplir los valores mínimos de transmitancia térmica que el DB-HE indica en su parte 1 apéndice D.

#### **4.2. Simulación energética de los edificios**

El número de edificios que van a ser simulados asciende a un total de 8, pudiéndose ver en la Figura 12. Al seleccionar varios edificios de cada tipología, mayor o menor número de ellos en función del peso que tienen sobre el área estudiada, se ha pretendido obtener unos datos más fiables. Además como se puede ver, los edificios seleccionados quedan dispuestos abarcando prácticamente toda el área de estudio por lo que el papel que juegan las sombras sobre ellos también se han tenido en cuenta.

- Tipología “Bloque 1”: 4 (1, 2, 3 y 4)
- Tipología “Bloque 2”: 2 (5 y 6)
- Tipología “Torre”: 2 (7 y 8)

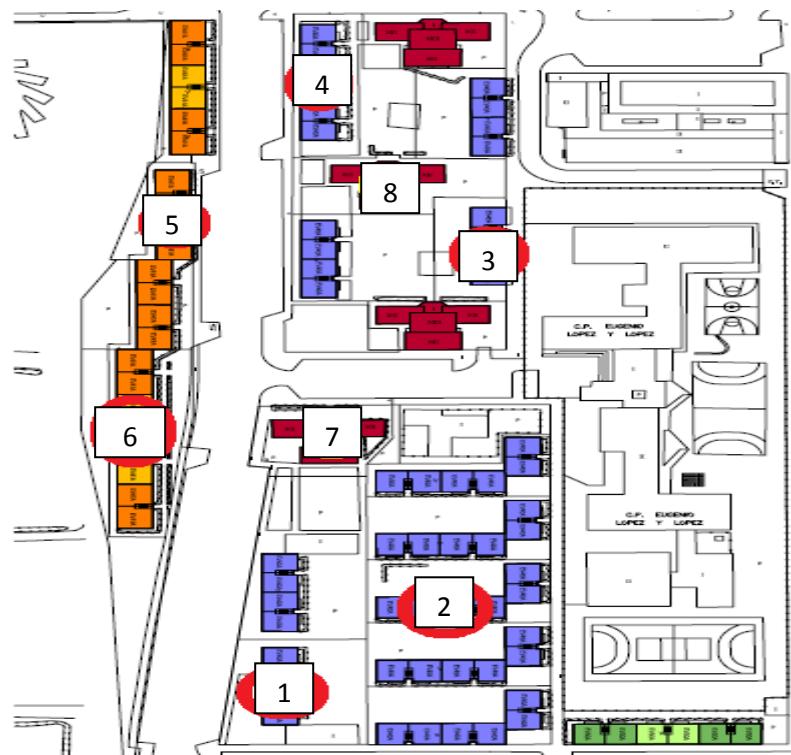


Figura 12: Edificios seleccionados para llevar a cabo las simulaciones

En cada uno de ellos a su vez se simularán dos plantas, siendo para cada una de las tipologías:

- Tipología “Bloque 1” y “Bloque 2”: 3<sup>a</sup> y 5<sup>a</sup> planta.
- Tipología “Torre”: 6<sup>a</sup> y 11<sup>a</sup> planta.

La selección de ambas plantas, una situada a una altura media y la otra siendo la de mayor altura, se ha realizado con el objetivo de poder ver la diferencia en cargas térmicas así como en demandas y consumos energéticos que se da en las viviendas en función de la altura a la que se encuentran situadas en un bloque de pisos.

En cuanto a la energía utilizada se han supuesto dos situaciones que son las siguientes:

- Utilización de la energía eléctrica para abastecer todo tipo de demanda energética incluyendo calefacción, refrigeración (si la hubiera) y agua caliente sanitaria (A.C.S.).
- Utilización de la energía térmica procedente de la combustión de gas natural a través del uso de un sistema de district heating y que se utilizaría para satisfacer las demandas de calefacción y A.C.S. A este sistema se le ha supuesto un rendimiento del 94% [31].

Se van a simular cuatro situaciones diferentes para ver el papel que juegan cada una de las modificaciones realizadas sobre la envolvente, siendo las siguientes:

- Caso actual: se va a realizar la simulación del edificio con las características actuales. Es decir, se van a introducir las características de la envolvente que posee en la actualidad mediante la introducción de la plantilla de cerramientos nº 1. En relación al perfil de uso se escoge aquel perteneciente al uso actual que se supone en las viviendas del barrio Balsas de Ebro Viejo de Zaragoza y que se puede ver en el *ANEXO I*.
  
- Rehabilitación de huecos: lo que se pretende con esta simulación es ver el papel que juega el rehabilitar únicamente la superficie acristalada de la envolvente térmica de una vivienda. Para esta se ha seleccionado la plantilla de actividad nº 2 y la correspondiente a los cerramientos ha sido también la nº 2.
  
- Rehabilitación de la envolvente: al igual que la simulación anterior únicamente se va a tener en cuenta la rehabilitación de una parte de la envolvente, en este caso el aislamiento, para ver el papel que juegan ambos por separado en la rehabilitación de una vivienda. En este caso las plantillas escogidas de perfil de actividad y cerramientos son la nº 2 y nº 3 respectivamente.
  
- Rehabilitación conjunta: por último la presente simulación tiene como objetivo ver los resultados que se obtienen mediante la rehabilitación conjunta de los elementos que antes habían sido estudiados por separado. Para ello se seleccionan la plantilla nº 2 y nº 4 correspondientes a las de actividad y cerramientos respectivamente.

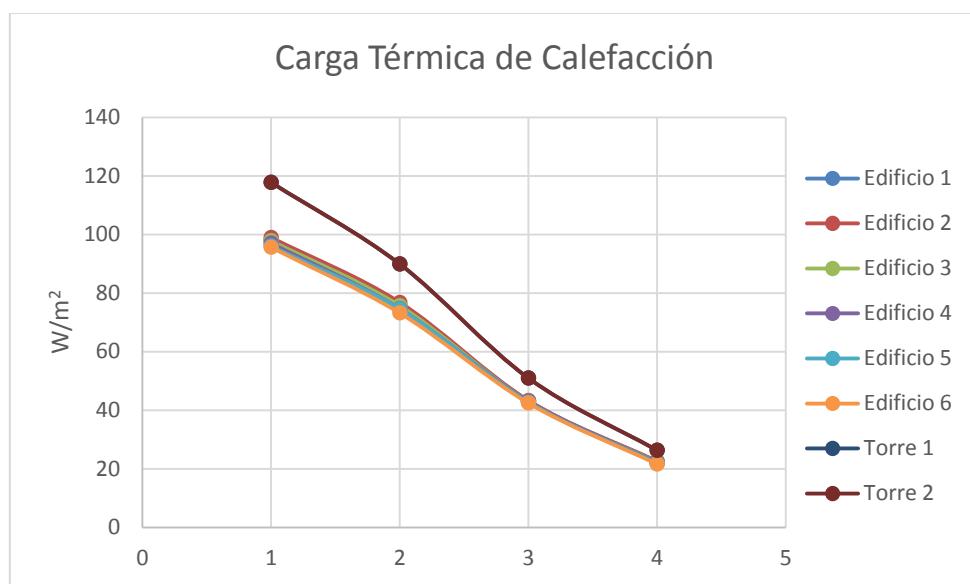
#### **4.3. Tratamiento, análisis y discusión de los resultados obtenidos**

Una vez presentado el caso de estudio, su localización y los diversos escenarios que se han simulado queda por tratar, analizar y discutir los resultados que se han obtenido. Para llevar a cabo dicho procedimiento se utilizarán una serie de gráficas, en ellas se mostrarán los resultados en conjunto de los diferentes edificios. Para acceder a los datos concretos de cada uno de ellos se deberá ir a los *Anexos II y III*.

Como aclaración decir que los números 1, 2, 3 y 4 que pueden aparecer en el eje de abscisas de las diferentes gráficas que muestran los datos obtenidos corresponden con:

- 1: "Caso Actual"
- 2: "Rehabilitación de Huecos"
- 3: "Rehabilitación de la Envoltura"
- 4: "Rehabilitación Conjunta"

En la primera de las gráficas, la comparativa muestra la evolución de la carga térmica de calefacción para todos los edificios.



Gráfica 3: Valores de la carga térmica de calefacción para cada uno de los edificios de estudio

Primero decir que la carga tanto de calefacción como de refrigeración va a ser independiente del tipo de energía que se utilice, ya que dicho parámetro indica la potencia que deben tener los equipos.

La evolución de la misma es descendente debido a las mejoras de rehabilitación acometidas y que evitan que la energía térmica almacenada dentro del edificio se disipe con tanta facilidad. Además esas mejoras derivan en una mayor estanqueidad y por lo tanto en una menor pérdida a causa de las infiltraciones.

Otro hecho a destacar es que los seis primeros edificios tienen casi la misma carga térmica de calefacción, debiéndose a que sus características constructivas (transmitancia de los cerramientos, superficie de estos...) son similares. Lo mismo pasa para las dos torres que también poseen los mismos valores entre ellas, siendo superiores a los edificios de tipología "Bloque 1" y "Bloque 2".

Esto se debe a que la superficie de la envolvente es superior en el caso de la torre con respecto al resto de los edificios. Dicha influencia se puede ver en la siguiente ecuación que permite calcular la carga térmica de calefacción:

$$Q = \sum (K_i \times S_i) \Delta t + C \times \rho_a \times q_v \times \Delta t$$

Siendo:

Q: carga térmica de calefacción

$K_i$ : transmitancia térmica de cada parte de la envolvente en  $\text{W}/\text{m}^2 \text{ K}$

$S_i$ : superficie de cada parte de la envolvente en  $\text{m}^2$

$\Delta t$ : diferencia de temperatura entre el interior y el exterior en  $^\circ\text{C}$

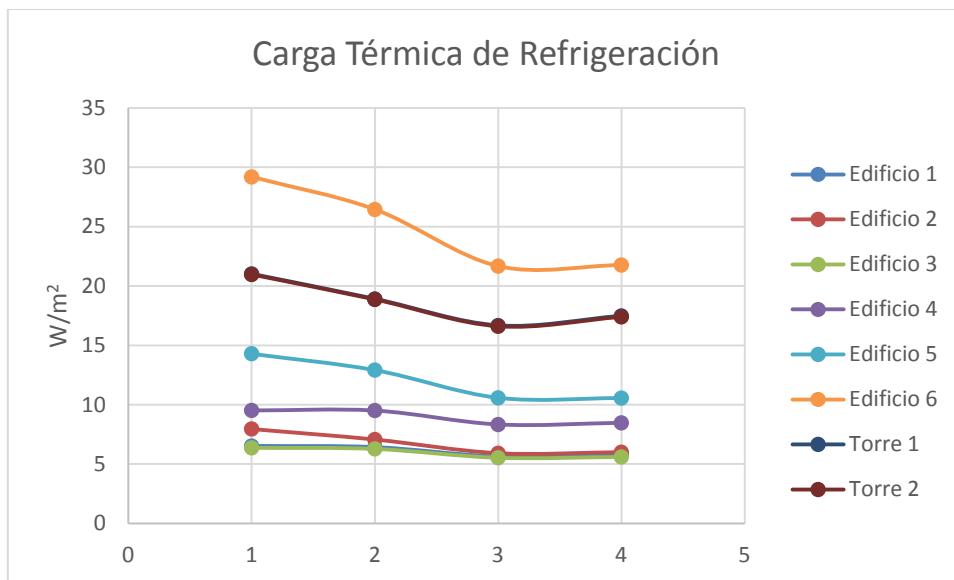
C (calor específico del aire): 1500 ( $\text{J}/\text{kg K}$ )

$\rho_a$  (densidad del aire): 1,2 ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$q_v$ : caudal de ventilación ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

Excepto la superficie de la envolvente, propia para cada edificio, los demás valores los comparten al poseer las mismas características constructivas y haberse considerado el mismo caudal de ventilación. La temperatura también puede influir de manera mínima, ya que la exterior no es la misma en todas las simulaciones aunque la variación es insignificante.

La otra de las cargas térmicas es la de refrigeración, pudiéndose ver el desarrollo que se ha dado en los diferentes edificios para cada uno de los escenarios.



Gráfica 4: Valores de la carga térmica de refrigeración para cada uno de los edificios de estudio

Como se puede ver la evolución es también descendente a medida que se van sucediendo las diferentes rehabilitaciones. Sin embargo, se aprecia que en el caso dónde se aúna a ambas rehabilitaciones al mismo tiempo el valor de la carga térmica de refrigeración es superior, quedando el valor más bajo en el escenario 3.

Al igual que en el caso anterior hay una explicación para ello y basta con remitirse a la ecuación que facilita los resultados, la cual es la siguiente:

$$Qr = Qs + Ql$$

Siendo:

$Qr$ : carga térmica total de refrigeración (W)

$Qs$ : carga térmica sensible (W)

$Ql$ : carga térmica latente (W)

Ambas son sumatorio de diferentes factores, siendo los siguientes:

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

En este caso las cargas sensibles transmitidas por infiltraciones de aire exterior ( $Q_{sr}$ ) y la carga sensible debida a aportaciones internas ( $Q_{sai}$ ) se toman constantes ya que son iguales para todos los edificios.

$$Ql = Qli + Qlp$$

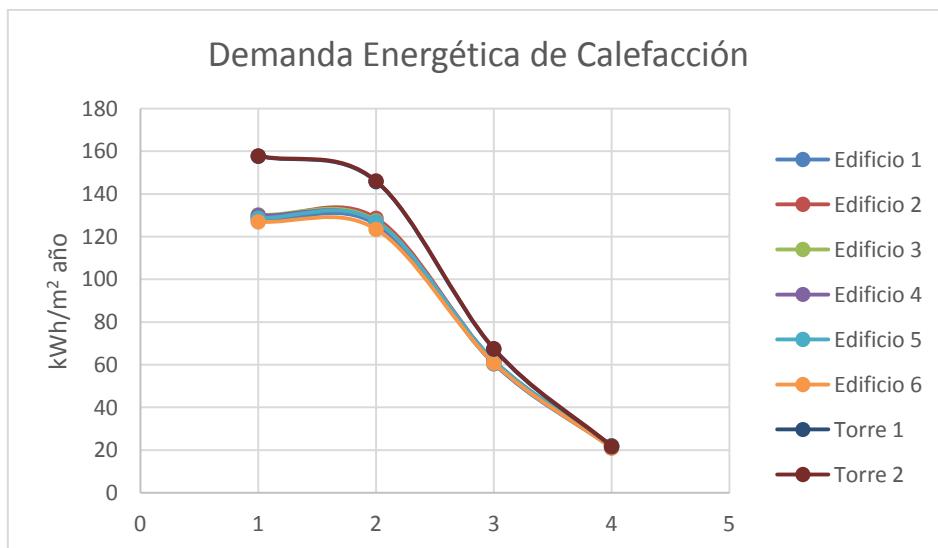
La carga latente también es la misma para todos los edificios ya que todos los parámetros que intervienen en el cálculo de la **carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior ( $Qli$ )** y la debida a **la carga latente por ocupación del local ( $Qlp$ )** son los mismos.

Por lo tanto la diferencia entre unos valores y otros dependerá de:

- **Carga sensible por radiación solar a través de huecos y lucernarios:**  
 $Qsr = S \cdot R \cdot F$
- **Carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores:**  $Qstr = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i)$
- **Carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores:**  $Qst = K \cdot S \cdot (T_e - T_i)$

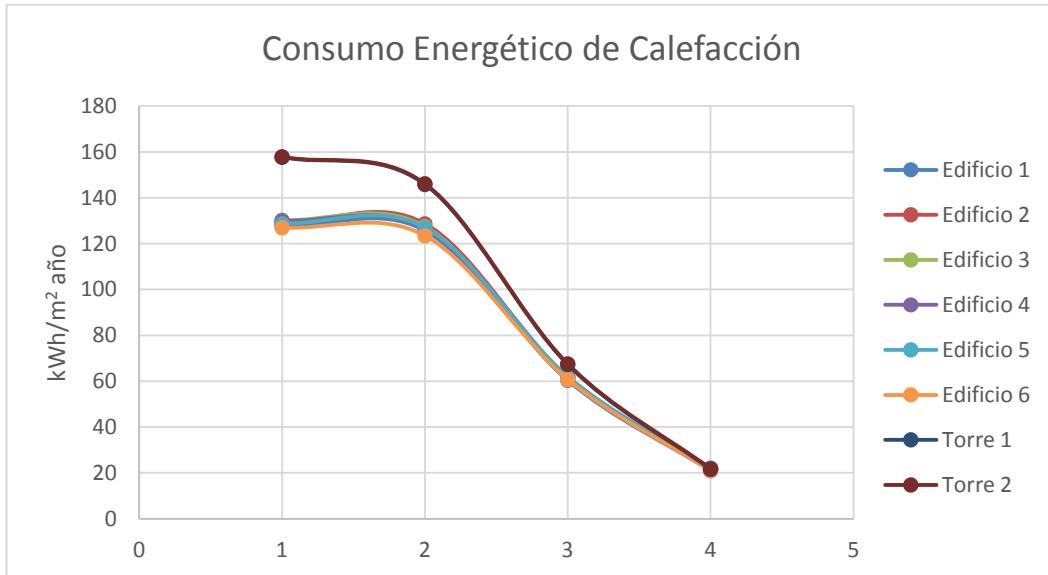
Excepto los parámetros en rojo, los demás coinciden para los diferentes edificios o como en el caso de las temperaturas su variación será insignificante pudiéndose despreciar el poder de cambio de los datos por parte de estas. Así pues la superficie(S) vuelve a cumplir un papel primordial para el caso de estudio.

A continuación aparecen las demandas energéticas de calefacción y refrigeración así como los consumos energéticos respectivos, siendo:



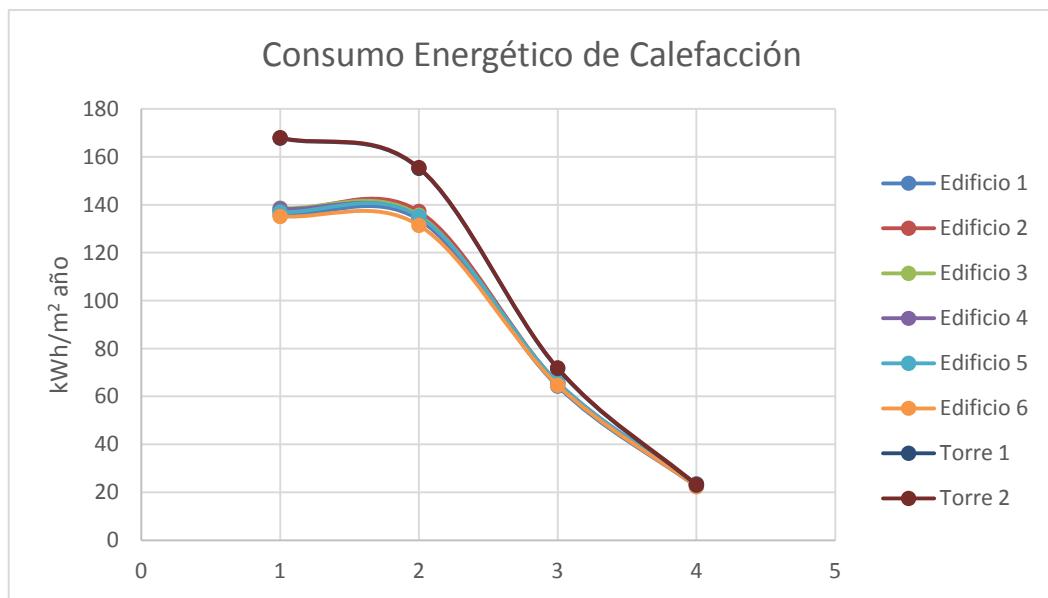
Gráfica 5: Valores de la demanda energética de calefacción para cada uno de los edificios

Energía eléctrica:



Gráfica 6: Valores del consumo energético de calefacción para cada uno de los edificios usando energía eléctrica

Energía térmica procedente de la combustión del gas natural:



Gráfica 7: Valores del consumo energético de calefacción para cada uno de los edificios usando energía térmica procedente de la combustión del gas natural

Indicar que la relación existente entre la demanda energética y el consumo energético es la siguiente:

$$C = \frac{D}{\eta}$$

siendo en este caso:

$C$  = consumo energético ( $\text{kWh}/\text{m}^2$  año)

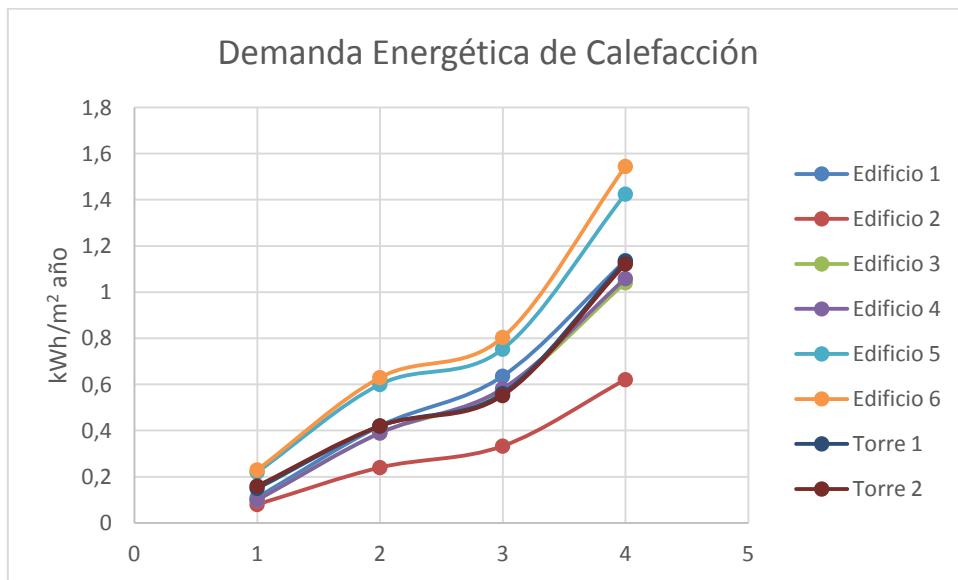
$D$  = demanda energética ( $\text{kWh}/\text{m}^2$  año)

$\eta$  = rendimiento del equipo utilizado

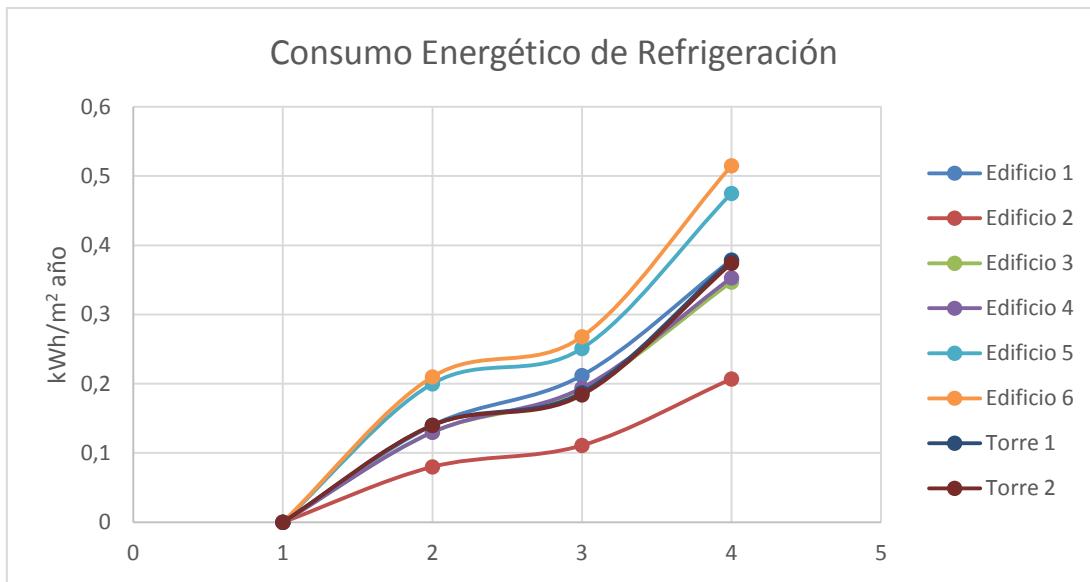
Por lo que las gráficas de demandas energéticas y consumos energéticos variarán en función del valor del rendimiento. Como cabía esperar que la evolución que sufre el consumo es descendente debido a la realización de las diferentes alternativas de rehabilitación y en consonancia con la demanda energética de calefacción. La diferencia entre los valores iniciales y finales obtenidos es extraordinaria pasando de valores cercanos a los  $160-170 \text{ kWh}/\text{m}^2$  año, dependiendo de tipo de energía utilizada, a  $17-23 \text{ kWh}/\text{m}^2$  año.

Es visible el hecho de que el consumo energético de calefacción es superior cuando la energía utilizada es térmica. Su explicación es el rendimiento de los equipos, ya que para el caso eléctrico es de 1, de ahí que en este caso las gráficas de demanda y consumo energético sean iguales; siendo en el caso del gas natural de 0,94.

Se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Gráfica 9 los resultados correspondiente a la demanda y consumos energéticos de refrigeración.



Gráfica 8: Valores de la demanda energética de refrigeración para cada uno de los edificios



Gráfica 9: Valores del consumo energético de refrigeración para cada uno de los edificios

A diferencia que el caso de consumo energético de calefacción, este tiene una evolución ascendente. Esto es algo normal puesto que a medida que se realizan las mejoras de rehabilitación el edificio va mejorando sus propiedades térmicas, por lo que la energía almacenada es más difícil que se pierda. Eso repercute en una mayor utilización de equipos de refrigeración y con ello en el consumo energético para hacer frente a esta energía que no se disipa a través de los cerramientos como lo hacía antes.

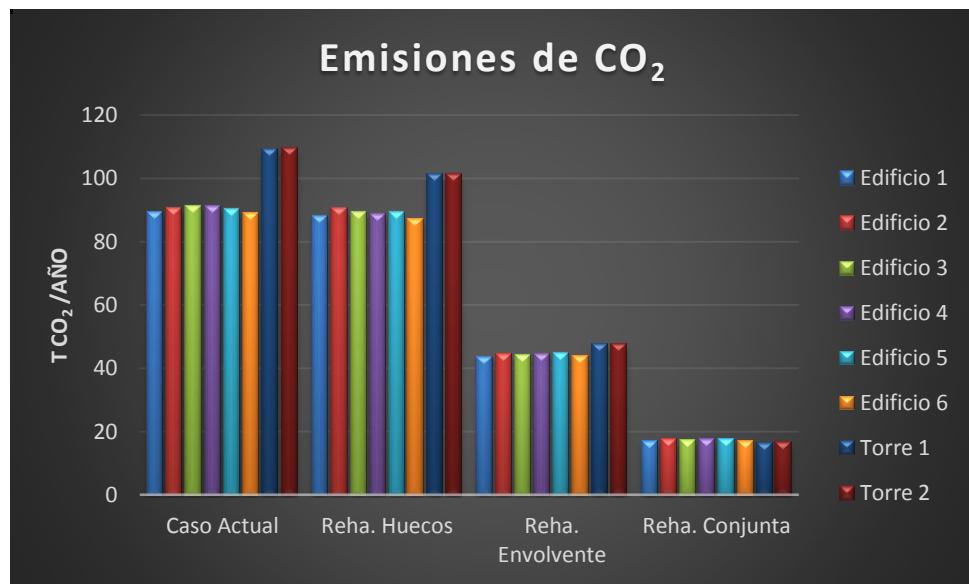
Los valores varían entre unos edificios y otros en función de múltiples factores como las ganancias solares, las ganancias a través de las paredes, el comportamiento que tiene el usuario... En este caso el comportamiento del usuario es común para todos por lo que no afecta a la variabilidad de los resultados, por ello la diferencia entre los diferentes edificios se deberá a los factores indicados con anterioridad.

Al igual que lo explicado antes, la diferencia de valores entre la demanda y el consumo energético de refrigeración reside en el rendimiento del equipo que se escoge. Para el caso del equipo se le ha dado un valor de 3, puesto que es un valor que cualquier equipo de aire acondicionado puede alcanzar actualmente.

Ambos consumos energéticos mencionados junto con los demás que se dan en las viviendas (iluminación, equipos...) tienen una repercusión sobre el medio ambiente. Esta repercusión viene dada en forma de emisiones de gases de efecto invernadero, obteniéndose en este estudio aquellas que se asocian al CO<sub>2</sub>.

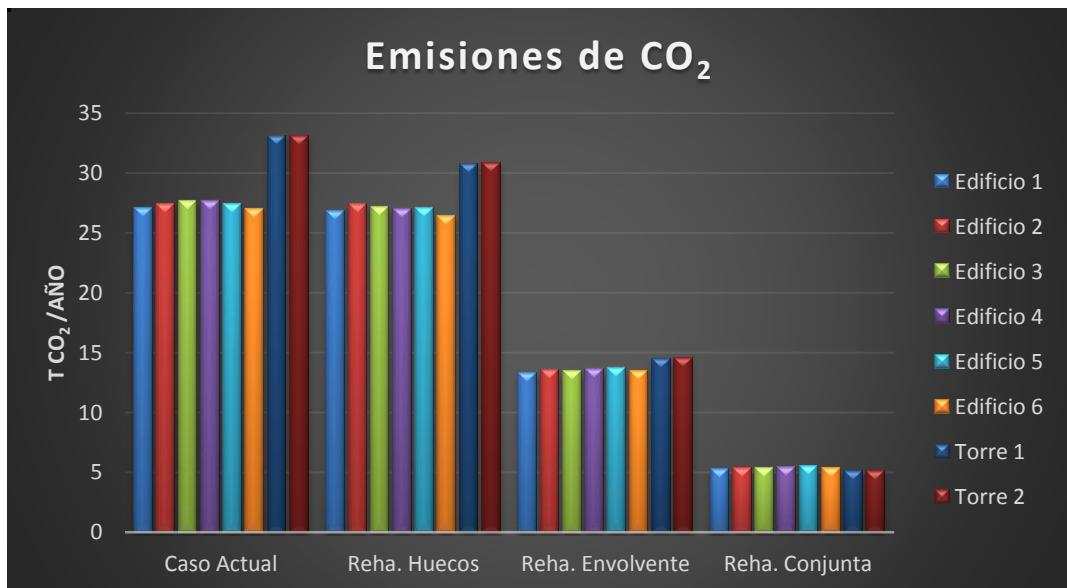
Como en el caso del consumo energético de calefacción, las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas a la atmósfera difieren en función de la energía utilizada. Por ello se muestran a continuación los resultados obtenidos para cada uno de los tipos de energía.

Energía eléctrica:



Gráfica 10: Valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> para cada uno de los edificios usando energía eléctrica

Energía térmica procedente de la combustión del gas natural:



Gráfica 11: Valores de las emisiones de CO<sub>2</sub> para cada uno de los edificios usando energía térmica procedente de la combustión del gas natural

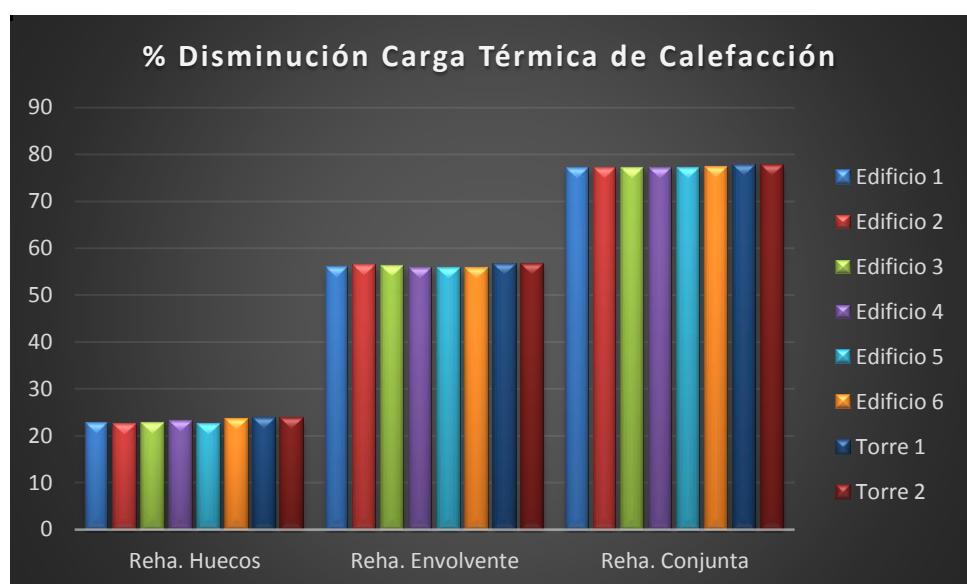
En consonancia con todas las demás gráficas, a excepción de la referente al consumo energético de refrigeración, la tendencia es descendente. En este caso la diferencia de utilizar un tipo de energía u otro desemboca en un menor o mayor ahorro de emisiones. Esta diferencia se debe a los valores que asocia el software Design Builder por defecto a cada kWh consumido por tipo de energía, siendo:

- Energía eléctrica: 0,685 kg CO<sub>2</sub>/kWh
- Energía térmica por combustión del gas natural: 0,195 kg CO<sub>2</sub>/ kWh

El otro dato llamativo es la diferencia en emisiones que tienen la tipología “Torre” con respecto a las otras dos tipologías, “Bloque 1” y “Bloque 2”. Esto se debe a que el mayor peso (en emisiones) es para el consumo energético en calefacción en comparación con los demás (refrigeración, iluminación...), y las torres son las que más consumo energético de calefacción poseen.

Se han podido ver hasta el momento las diferentes cargas térmicas, demandas y consumos energéticos poniendo de manifiesto la tendencia descendente que se esperaba al acometer las diferentes mejoras de rehabilitación pero todavía no se ha puesto valor a la disminución (carga térmica de calefacción y demandas energéticas) y ahorros (consumo energético de calefacción y emisión de CO<sub>2</sub>) producidos por ellas.

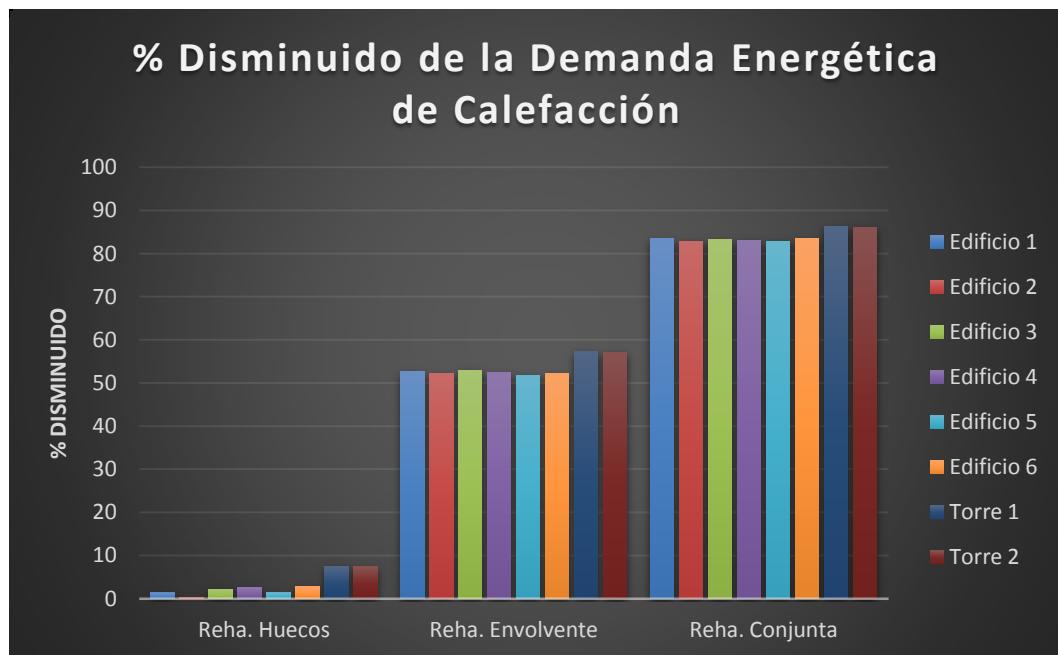
Esto queda mostrado en las siguientes gráficas:



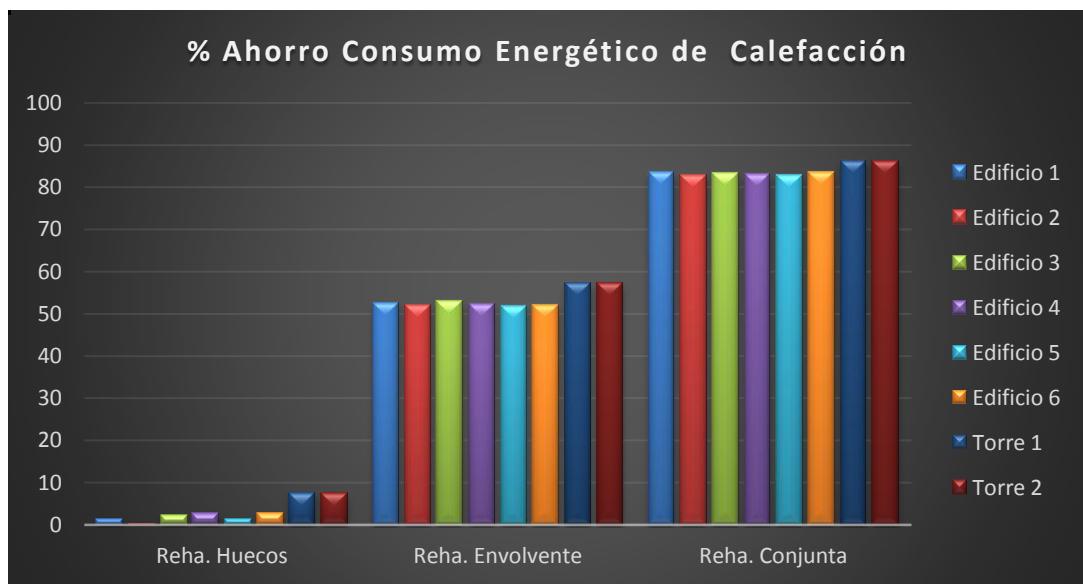
Gráfica 12: % disminución de la carga térmica de calefacción según la acción de rehabilitación llevada a cabo



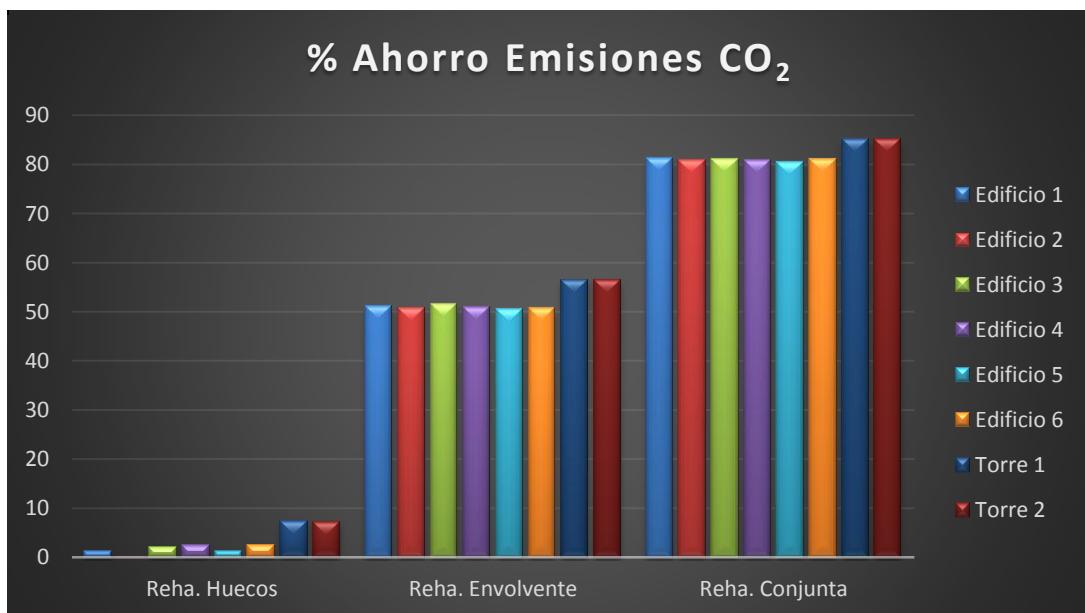
Gráfica 13: % disminución de la carga térmica de refrigeración según la acción de rehabilitación llevada a cabo



Gráfica 14: % disminuido de la demanda energética de calefacción



Gráfica 15: % ahorro del consumo energético de calefacción según la acción de rehabilitación llevada a cabo

Gráfica 16: % ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> según la acción de rehabilitación llevada a cabo

A simple vista tanto la disminución como los ahorros que se producen al llevar a cabo las diferentes soluciones de rehabilitación son excepcionales.

Obviamente los mayores se producen en el caso de la rehabilitación conjunta situándose en torno a unos registros que están alrededor del 80%; la rehabilitación de sólo la envolvente alcanza valores que varían entre el 50 y 60% en función de qué gráfica se consulte. Para el caso de la rehabilitación de los huecos los datos son más fluctuantes

En cuanto a los edificios los mayores ahorros se dan en la tipología "Torre" puesto que los valores iniciales (caso actual) son superiores a los demás, alcanzando en el escenario final (rehabilitación conjunta) prácticamente los mismos resultados que el resto de los edificios.

En el caso de la carga térmica de calefacción tanto los registros iniciales como finales para la tipología "Torre" mantienen su diferencia con el resto de edificios, por ello los ahorros en este caso son prácticamente iguales a los demás.

Se han podido ver un gran número de datos pero todavía no se ha mostrado que supone a nivel barrio, por ello a continuación se muestran varias tablas que tienen por objetivo mostrar esa repercusión que tiene la rehabilitación de las viviendas del área 1 del barrio Balsas de Ebro Viejo de Zaragoza:

	Situación Inicial Demanda de Calefacción			
	Demandad (kWh/m <sup>2</sup> )	m <sup>2</sup> edificio	nº edificios	Demandad Total por Tipología (MWh)
<b>Bloque 1</b>	129,11	675	28	2.440
<b>Bloque 2</b>	128,75	800	11	1.133
<b>Torre</b>	157,71	3520	4	2.221
			<b>Demandad Total</b>	<b>5.794</b>

Tabla 8: Cálculos de demanda energética de calefacción total que presenta el barrio en la situación inicial

Situación Final Demanda de Calefacción				
	Demanda (kWh/m2)	m <sup>2</sup> edificio	nº edificios	Demanda Total por Tipología (MWh)
<b>Bloque 1</b>	22,079	675	28	417
<b>Bloque 2</b>	22,089	800	11	194
<b>Torre</b>	21,618	3520	4	304
		<b>Demanda Total</b>		<b>916</b>

Tabla 9: Cálculos de demanda energética de calefacción total que presenta el barrio en la situación final (rehabilitación conjunta)

Ahorro frente a la situación inicial a nivel barrio para la Demanda de Calefacción				
	Ahorro Demanda (kWh/m2)	m <sup>2</sup> edificio	nº edificios	Ahorro Total por Tipología (MWh)
<b>Bloque 1</b>	107,031	675	28	2.023
<b>Bloque 2</b>	106,661	800	11	939
<b>Torre</b>	136,092	3520	4	1.916
		<b>Ahorro Total</b>		<b>4.878</b>

Tabla 10: Ahorro frente a la situación inicial a nivel de barrio para la demanda de calefacción

Como se puede ver los resultados son muy buenos llegándose a ahorrar 4.878 MWh año en lo que respecta a la demanda energética de calefacción entre las 570 viviendas que componen el área estudiada. Dicho ahorro en demanda energética se transmite en un ahorro de emisiones de CO<sub>2</sub> de 3.341 t/año.

## **5. Conclusiones**

En el trabajo llevado a cabo se ha estudiado la importancia que tiene en la actualidad la rehabilitación energética de las viviendas que se están quedando obsoletas energéticamente y que deben adecuarse a unos estándares de eficiencia energética de los que se encuentran demasiado lejos.

Partiendo del caso actual que se da en el barrio zaragozano Balsas de Ebro Viejo, se han evaluado varias medidas de rehabilitación energética que perseguían los objetivos de reducir las cargas térmicas de calefacción y refrigeración, así como las demandas y consumos energéticos respectivos y las emisiones asociadas a estos.

Los datos obtenidos han mostrado que el objetivo que se perseguía ha sido cumplido de manera global, ya que todos los parámetros estudiados se han reducido a excepción de un ligero incremento en el consumo energético de refrigeración debido a la mayor dificultad de evacuar las cargas internas de los edificios.

Para el resto de los parámetros la tendencia ha sido descendente en cada una de las mejoras, obteniéndose con cada una de ellas un ahorro respecto al caso inicial. En el caso final (rehabilitación conjunta) el consumo energético de calefacción supera ahorros del 80% alcanzando registros algo superiores a los 20 kWh/m<sup>2</sup> año en contraposición a los 120-160 kWh/m<sup>2</sup> año que se dan en el caso base; la carga térmica de refrigeración también ha cosechado reducciones importantes, aunque no tan significativas como las anteriores, desde aproximadamente el 12% hasta superar el 25% dependiendo del edificio estudiado con respecto al caso actual del barrio. En consonancia con los datos obtenidos a nivel edificio, aparecen los relacionados con las diferentes plantas estudiadas que prácticamente muestran los mismos niveles de ahorro para el caso final (rehabilitación conjunta). De todas maneras hay que subrayar unos mayores valores para el caso de la última planta por lo que se puede concluir que la situación de la vivienda dentro del edificio también juega un papel importante en el valor de los parámetros tratados. Los resultados pertinentes a esta parte del estudio se pueden ver en el *Anexo III*.

Reflejo de los ahorros en el consumo energético, las emisiones de CO<sub>2</sub> se han reducido también de forma considerable. Aunque el ahorro ha sido el mismo para ambos tipos de energía, se debe hacer hincapié en el hecho de que la utilización del gas natural reduce de forma más contundente las emisiones de CO<sub>2</sub> emitidas a la atmósfera llegando a valores de tan sólo unas 5 toneladas al año por edificio. Por el contrario y en la misma situación las emisiones al utilizar la energía eléctrica, han multiplicado su valor prácticamente por 4 quedándose en torno a las 20 toneladas/año.

Los datos más clarificadores son los mostrados en última instancia y que muestran los grandes ahorros que suponen tanto en demanda como en emisiones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera. Todo ello gracias a la rehabilitación conjunta de los huecos y la introducción de aislamiento en la envolvente.

Concluyendo, se ha podido ver y demostrar los beneficios que supone la rehabilitación energética de edificios que se están quedando obsoletos energéticamente. Esta tarea lleva por tanto beneficios asociados tanto al edificio, el cual gana en modernidad; su propietario o inquilino que obtiene ahorros en el consumo energético; y también el medio ambiente al reducirse de forma contundente las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas a la atmósfera.

Resaltar también como conclusión, hecho que coincide con mucha de la bibliografía consultada, que el factor que juega un papel más importante en la consecución de estos datos es la envolvente térmica, siendo el primer elemento que se debe tener en cuenta al realizar una rehabilitación energética en una vivienda. Por ello y con los avances que depara el futuro en materia de aislamientos, se debe tener conciencia de que se puede seguir mejorando y evolucionando en la consecución de unos estándares de eficiencia energética cada vez mayores convirtiéndose en un apoyo para alcanzar los objetivos de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.

Una vez expuestas las conclusiones apuntar varias líneas de investigación que se podrían derivar del presente estudio entre las cuales se encuentra la introducción de elementos pasivos de ahorro de energía como aleros, retranqueos... que permitan reducir el consumo energético de refrigeración en verano e influir lo menos posible en invierno; la evaluación de incorporar instalaciones de producción de energía in situ de origen renovable a nivel edificio; o estudiar el comportamiento de diferentes aislantes y espesores en la envolvente entre otros...

Para terminar, destacar el hecho de realizar la simulación de un área de un barrio y no de edificios aislados. Mediante esto se consigue tener en cuenta la manera en la que influyen el resto de edificios sobre aquel que está siendo simulado ya que se tienen en cuenta las sombras que producen.

## **6. Referencias**

- [1] Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo; Ministerio de Fomento. “Observatorio de vivienda y suelo. Boletín especial censo 2011 Parque edificatorio”. Abril 2014.
- [2] WWF. “Potencial de ahorro energético y de reducción de emisiones de CO<sub>2</sub> del parque residencial existente en España en 2020”. Publicado en diciembre 2010 por WWF/Adena.
- [3] Presidencia del Gobierno. “Norma básica de la edificación sobre condiciones térmicas de los edificios (NBE-CT-79)”. Real decreto 2429/1979, 6 de Julio. Publicado el 22 de octubre de 1979.
- [4] Instituto Aragonés de Estadística. “Censo de población y viviendas, 2011. Aragón. Municipio de Zaragoza”. Agosto 2014.
- [5] Maile, T. Fischer, M. Bazjanac, V. Building energy performance simulation tools- a life-cycle and interoperable perspective, Center for Integrated Facility Engineering (CIFE) (2007).
- [6] IDAE. “Guía Práctica de la Energía. Consumo Eficiente y Responsable”. 3<sup>a</sup> Edición, (7/2011)
- [7] IDAE. “Soluciones de acristalamiento y cerramiento acristalado”. ISBN: 978-84-96680-40-1, (2009).
- [8] IDAE. “Soluciones de aislamiento con espumas flexibles”. ISBN: 978-84-96680-41-8, (2009).
- [9] IDAE. “Soluciones de aislamiento con lana mineral”. ISBN: 978-84-96680-38-8, (2008).
- [10] IDAE. “Soluciones de aislamiento con poliestireno expandido (EPS)”. ISBN: 978-84-96680-36-4, (2009).
- [11] IDAE. “Soluciones de aislamiento con poliestireno extruido”. ISBN: 978-84-96680-37-1, (2008).
- [12] Consejería de Economía y Consumo, organización Dirección General de Industria, Energía y Minas. “Guía de rehabilitación energética de edificios de viviendas”. Madrid 2008
- [13] ETRES consultores. “Guía práctica de rehabilitación energética en edificios”. Noviembre 2009.
- [14] Saint-Gobain Weber. “Manual de Rehabilitación y Habilitación Eficiente en Edificación”. 2011

- [15] ETRES consultores. "Guía de eficiencia energética para la rehabilitación de edificios existentes". Diciembre 2009.
- [16] IDAE. "Sistemas de aislamiento térmico exterior (SATE) para la rehabilitación de la envolvente térmica de los edificios". ISBN: 978-84-96680-59-3, (4/2012).
- [17] Generalitat Valenciana. Consellería de Medio Ambiente, Agua, Urbanismo y Vivienda. "Catálogo de soluciones constructivas de rehabilitación". 1<sup>a</sup> Edición. Abril 2011.
- [18] Rodriguez-Ubinas, E. Montero, C. Porteros, M. Vega, S. Navarro, I. Castillo-Cagigal, M. Matallanas, E. Gutiérrez, A, Passive design strategies and performance of Net Energy Plus Houses, *Energy and Buildings* 83 (11/ 2014) 10-22.
- [19] Kaynakli, O. A review of the economical and optimum thermal insulation thickness for building applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16 (1/2012) 415-422.
- [20] Kumar, A. Suman, B.M. Experimental evaluation of insulation materials for walls and roofs and their impact on indoor thermal comfort under composite climate, *Building and Environment* 59 (1/2013) 635-643.
- [21] Dakwale, V.A. Ralegaonkar, R.V. Mandavgne, S. Improving environmental performance of building through increased energy efficiency: A review, *Sustainable Cities and Society* 1 (12/2011) 211-218.
- [22] Pérez Gávez, F. Rubio de Hita, P. Ordoñez Martín, M. Morales Conde, M.J. Rodríguez Liñán, C. Sustainable restoration of traditional building systems in the historical centre of Sevilla (Spain), *Energy and Buildings*, DOI: 10.1016/j.enbuild.2012.05.009
- [23] Gustavsen, A. Gryning, S. Arasteh, D. Jelle, B.J. Goudey, H. Key elements of and material performance targets for highly insulating window frames, *Energy Buildings* 43 (10/2011) 2583-2594.
- [24] Sadineni, S.B. Madala, S. Boehm, R.F. Passive building energy savings: A review of building envelope components, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (10/2011) 3617-3631.
- [25] Jelle, B.J. Traditional, state-of-the-art and future thermal building insulation materials and solutions-Properties, requirements and possibilities, *Energy and Buildings* 43 (2011) 2549-2563.
- [26] Kalnæs, S.E. Jelle, B.P. Vacuum insulation panel products: A state-of-the-art review and future research pathways, *Applied Energy* 116 (3/2014) 355-375.
- [27] Papadopoulos, A.M. State of the art in thermal insulation materials and aims for future developments, *Energy and Buildings* 37 (1/2005) 77-86.
- [28] Cuce, E. Riffat, S.B. A state-of-the-art review on innovative glazing technologies, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41 (1/2015) 695-714.

- [29] Luis Gerardo Ruiz Palomeque, Juan Rubio del Val. "Nuevas propuestas de rehabilitación urbana en Zaragoza. Estudio de conjunto urbanos de interés". Sociedad Municipal de Rehabilitación Urbana de Zaragoza, 2006.
- [30] Pilar Cardesa Biesa. "Rehabilitación de edificio residencial en el barrio Balsas de Ebro Viejo de Zaragoza con el estándar ENERPHIT-PASSIVHAUS". Máster o Postgrado Ecodiseño y Eficiencia Energética en Edificación. 20/12/2013.
- [31] [www.viessmann.es/es/sobre\\_viessmann/Novedades/District\\_Heating\\_Cuenca.html](http://www.viessmann.es/es/sobre_viessmann/Novedades/District_Heating_Cuenca.html)



---

# ANEXOS

---



## Índice de Tablas de Anexos

Tabla A1: Resultados obtenidos para el edificio 6 en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica.....	96
Tabla A2: Resultados obtenidos para el edificio 6 en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía térmica .....	97
Tabla A3: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica.....	99
Tabla A4: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de consumo energético de calefacción para energía térmica .....	99
Tabla A5: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica.....	103
Tabla A6: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía térmica .....	103
Tabla A7: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica.....	105
Tabla A8: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica.....	105
Tabla A9: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio8) en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica.....	108
Tabla A10: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de emisión de CO <sub>2</sub> asociados a la energía térmica .....	109

## Índice de Gráficas de Anexos

Gráfica A1: Carga térmica de calefacción para el edificio 1.....	67
Gráfica A2: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 1 .....	67
Gráfica A3: Demanda energética de calefacción del edificio 1.....	68
Gráfica A4: Consumo energético de calefacción del edificio 1 por energía utilizada por tipo de energía utilizada .....	68
Gráfica A5: Carga térmica de refrigeración del edificio 1 .....	69
Gráfica A6: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 1 .....	69
Gráfica A7: Demanda energética de refrigeración del edificio 1 .....	70
Gráfica A8: Consumo energético de refrigeración del edificio 1 .....	70
Gráfica A9: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 1 por tipo de energía utilizada.....	71
Gráfica A10: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 1 por tipo de energía utilizada .....	71
Gráfica A11: Carga térmica de calefacción para el edificio 2 por tipo de energía utilizada .....	72

## Índice de tablas y gráficas

Gráfica A12: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 2 .....	72
Gráfica A13: Demanda energética de calefacción del edificio 2.....	73
Gráfica A14: Consumo energético de calefacción del edificio 2 por energía utilizada.....	73
Gráfica A15: Carga térmica de refrigeración del edificio 2 .....	74
Gráfica A16: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 1 .....	74
Gráfica A17: Demanda energética de refrigeración del edificio 2 .....	75
Gráfica A18: Consumo energético de refrigeración del edificio 1 .....	75
Gráfica A19: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 2 por tipo de energía utilizada.....	76
Gráfica A20: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 2 por tipo de energía utilizada .....	76
Gráfica A21: Carga térmica de calefacción para el edificio 3.....	77
Gráfica A22: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 3 .....	77
Gráfica A23: Demanda energética de calefacción del edificio 3.....	78
Gráfica A24: Consumo energético de calefacción del edificio 3 por energía utilizada .....	78
Gráfica A25: Carga térmica de refrigeración del edificio 3 .....	79
Gráfica A26: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 3 .....	79
Gráfica A27: Demanda energética de refrigeración del edificio 3 .....	80
Gráfica A28: Consumo energético de refrigeración del edificio 3 .....	80
Gráfica A29: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 3 por tipo de energía utilizada.....	81
Gráfica A30: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 3 por tipo de energía utilizada .....	81
Gráfica A31: Carga térmica de calefacción para el edificio 4.....	82
Gráfica A32: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 4 .....	82
Gráfica A33: Demanda energética de calefacción del edificio 4.....	83
Gráfica A34: Consumo energético de calefacción del edificio 4 por energía utilizada .....	83
Gráfica A35: Carga térmica de refrigeración del edificio 4 .....	84
Gráfica A36: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 4 .....	84
Gráfica A37: Demanda energética de refrigeración del edificio 4 .....	85
Gráfica A38: Consumo energético de refrigeración del edificio 4 .....	85
Gráfica A39: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 4 por tipo de energía utilizada.....	86
Gráfica A40: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 4 por tipo de energía utilizada .....	86
Gráfica A41: Carga térmica de calefacción para el edificio 5.....	87
Gráfica A42: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 5 .....	87
Gráfica A43: Demanda energética de calefacción del edificio 5.....	88

## Índice de tablas y gráficas

Gráfica A 44: Consumo energético de calefacción del edificio 5 por energía utilizada .....	88
Gráfica A45: Carga térmica de refrigeración del edificio 5 .....	89
Gráfica A46: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 5 .....	89
Gráfica A47: Demanda energética de refrigeración del edificio 5 .....	90
Gráfica A48: Consumo energético de refrigeración del edificio 5 .....	90
Gráfica A49: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 5 por tipo de energía utilizada.....	91
Gráfica A50: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 5 por tipo de energía utilizada .....	91
Gráfica A51: Carga térmica de calefacción para el edificio 6.....	92
Gráfica A52: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 6 .....	92
Gráfica A53: Demanda energética de calefacción del edificio 6.....	93
Gráfica A54: Consumo energético de calefacción del edificio 6 por energía utilizada .....	93
Gráfica A55: Carga térmica de refrigeración del edificio 6 .....	94
Gráfica A56: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 6 .....	94
Gráfica A57: Demanda energética de refrigeración del edificio 6 .....	95
Gráfica A58: Consumo energético de refrigeración del edificio 6 .....	95
Gráfica A59: Emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 6 por tipo de energía utilizada.....	96
Gráfica A60: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> del edificio 6 por tipo de energía utilizada .....	96
Gráfica A61: Carga térmica de calefacción para la torre 1 (edificio 7) .....	97
Gráfica A62: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción de la torre 1 (edificio 7) .....	98
Gráfica A63: Demanda energética de calefacción de la torre 1 (edificio 7) .....	98
Gráfica A64: Consumo energético de calefacción de la torre 1 (edificio 7) por energía utilizada .....	99
Gráfica A65: Carga térmica de refrigeración de la torre 1 (edificio 7) .....	100
Gráfica A66: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración de la torre 1 (edificio 7) .....	100
Gráfica A67: Demanda energética de refrigeración de la torre 1 (edificio 7) .....	101
Gráfica A68: Consumo energético de refrigeración de la torre 1 (edificio 7) .....	101
Gráfica A69: Emisiones de CO <sub>2</sub> de la torre 1 (edificio 7) por tipo de energía utilizada.....	102
Gráfica A70: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la torre 1 (edificio 7) por tipo de energía utilizada .....	102
Gráfica A71: Carga térmica de calefacción para la torre 2 (edificio 8) .....	103
Gráfica A72: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción de la torre 2 (edificio 8).....	104
Gráfica A73: Demanda energética de calefacción de la torre 2 (edificio 8) .....	104

## Índice de tablas y gráficas

Gráfica A74: Consumo energético de calefacción de la torre 2 (edificio 8) por energía utilizada .....	105
Gráfica A75: Carga térmica de refrigeración de la torre 2 (edificio 8) .....	106
Gráfica A76: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración de la torre 2 (edificio 8) .....	106
Gráfica A77: Demanda energética de refrigeración de la torre 2 (edificio 8).....	107
Gráfica A78: Consumo energético de refrigeración de la torre 2 (edificio 8).....	107
Gráfica A79: Emisiones de CO <sub>2</sub> de la torre 2 (edificio 8) por tipo de energía utilizada.....	108
Gráfica A80: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO <sub>2</sub> de la torre 2 (edificio 8) por tipo de energía utilizada .....	108
Gráfica A81: Carga térmica de calefacción por edificios para la planta intermedia de cada uno de ellos .....	110
Gráfica A82: Carga térmica de calefacción por edificios para la última planta de cada uno de ellos .....	111
Gráfica A83: Carga térmica de refrigeración por edificios .....	112
Gráfica A84: Demanda energética de calefacción por edificios para la planta intermedia de cada uno de ellos.....	112
Gráfica A85: Demanda energética de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos .....	113
Gráfica A86: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía eléctrica.....	113
Gráfica A87: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía térmica .....	114
Gráfica A88: Consumo energético de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía eléctrica.....	114
Gráfica A89: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía térmica .....	115
Gráfica A90: Demanda energética de refrigeración por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos.....	116
Gráfica A91: Demanda energética de refrigeración por edificio para la última planta de cada uno de ellos .....	116
Gráfica A92: Consumo energético de refrigeración por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos.....	117
Gráfica A93: Consumo energético de refrigeración por edificio para la última planta de cada uno de ellos .....	117
Gráfica A94: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción por edificio para planta intermedia de cada uno de ellos .....	118

## Índice de tablas y gráficas

Gráfica A95: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos .....	119
Gráfica A96: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del por edificio.....	120
Gráfica A97: Ahorro en el consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos.....	120
Gráfica A98: Ahorro en el consumo energético de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos.....	121



## Anexo I: Perfiles de uso introducidos en las simulaciones

---

En el presente anexo se presentan las dos plantillas referentes al perfil de usos que se ha utilizado en las simulaciones.

- Perfil de uso de Balsas Ebro Viejo (1): con ella se ha pretendido plasmar el perfil de uso que puede haber actualmente en las viviendas que componen el barrio. De esta manera los datos obtenidos se aproximarán mas a la realidad actual del barrio. Los datos principales a tener en cuenta son las temperaturas de consigna, las cuales son las siguientes:
  - o Caso calefacción:
    - T<sup>a</sup> principal de calefacción<sup>3</sup>: 21°C
    - T<sup>a</sup> secundaria de calefacción<sup>4</sup>: 19°C
  - o Caso Refrigeración:
    - T<sup>a</sup> principal de calefacción: 24°C
    - T<sup>a</sup> secundaria de calefacción: 26°C

Estas temperaturas se encuentran asociadas a una programación de uso, la cual también requiere que se indique tanto el horario como el porcentaje de utilización de los equipos que se utilizarán para satisfacer las diferentes necesidades de demanda energética. Estos datos le sirven al software para llevar a cabo los pertinentes cálculos y mostrar los diversos resultados de demandas y consumos energéticos. Con las siguientes figuras se pretende que quede clara la programación utilizada al seleccionar el perfil de uso.

---

<sup>3</sup> T<sup>a</sup> principal de consigna: primera temperatura límite interior a partir de la cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

<sup>4</sup> T<sup>a</sup> secundaria de consigna: segunda temperatura límite interior a partir de la cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio requiriendo aportes energéticos. Esta se introduce en los equipos por si fallan y la t<sup>a</sup> interior caer por debajo de la t<sup>a</sup> principal de consigna.

- Programación de calefacción:

General								
Nombre	Calefacción Balsas Ebro Viejo							
Descripción	Calefacción utilizada en el barrio Balsas Ebro Viejo							
Fuente								
📁 Categoría	Espacios Residenciales							
🌐 Región	General							
Tipo de programación	1-Programación 7/12							
Días de diseño								
Método de definición del día de diseño	1-Uso final predeterminado							
Uso final predeterminado	5-Calefacción							
Perfiles								
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo	
Ene	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Feb	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Mar	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Abr	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
May	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Nov	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...
Dic	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...	Horario Calefacción B...

Figura A1: Calendario de programación de calefacción correspondiente a la plantilla perfil uso Balsas Ebro Viejo

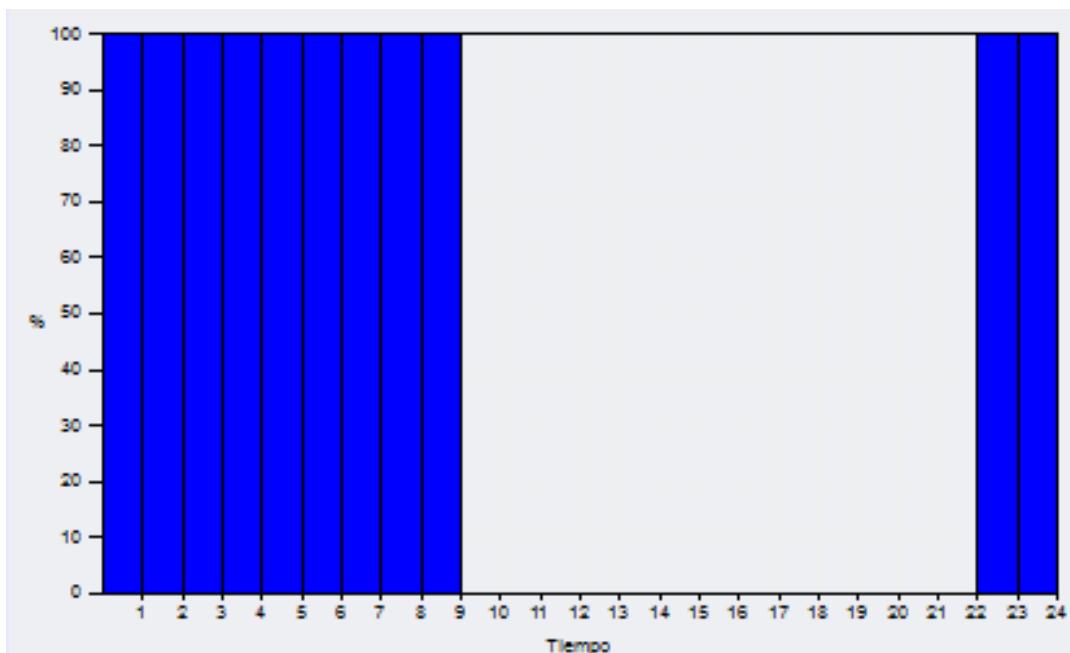
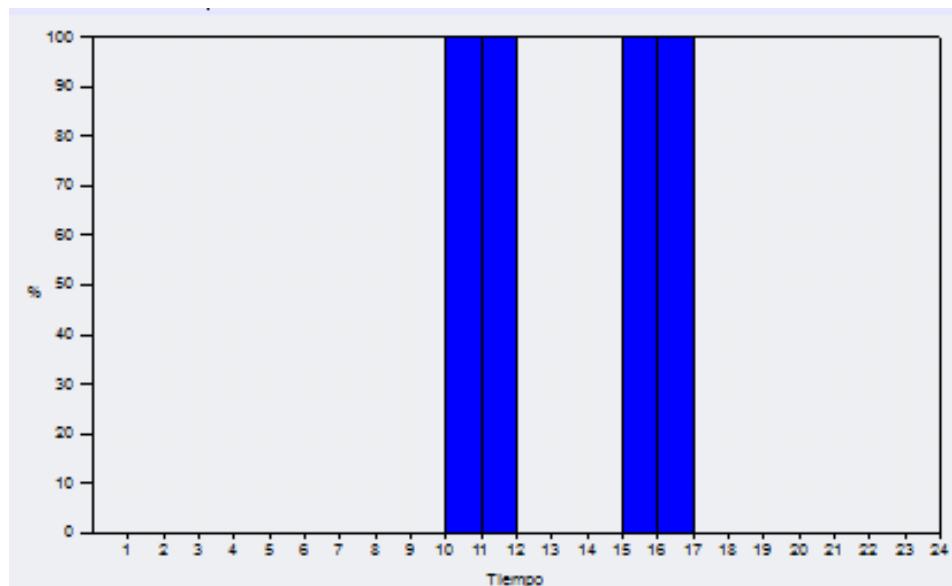


Figura A2: Horario y porcentaje de utilización de los equipos perteneciente a la programación de calefacción de la plantilla de uso Balsas de Ebro Viejo

- Programación de refrigeración:

General							
Nombre	Refrigeración Balsas Ebro Viejo						
Descripción							
Fuente							
Categoría	Espacios Residenciales						
Región	General						
Tipo de programación	1-Programación 7/12						
Días de diseño							
Método de definición del día de diseño	1-Uso final predeterminado						
Uso final predeterminado	6-Refrigeración						
Perfiles							
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Abr	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
May	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Jun	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Jul	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Ago	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Sep	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

**Figura A3: Calendario de programación de refrigeración correspondiente a la plantilla perfil uso Balsas Ebro Viejo**



**Figura A4: Horario y porcentaje de utilización de los equipos perteneciente a la programación de refrigeración de la plantilla de uso Balsas de Ebro Viejo**

- Perfil uso CTE (2): lo que se ha pretendido con ella es establecer aquellos valores que se recogen en el código técnico de la edificación. Los datos principales a tener en cuenta son las temperaturas de consigna, las cuales son las siguientes:

- o Caso Calefacción:

- T<sup>a</sup> principal de consigna: 20°C
- T<sup>a</sup> secundaria de consigna: 17°C

- o Caso Refrigeración:

- T<sup>a</sup> principal de consigna: 25°C
- T<sup>a</sup> secundaria de consigna: 27°C

Como en el caso anterior estas temperaturas están asociadas a una programación de uso, en la cual se introducen tanto el horario como el porcentaje de utilización de los equipos. En las figuras que aparecen a continuación se muestran las programaciones utilizadas para este perfil de uso.

- o Programación de calefacción:

General							
Nombre	CTE Calefacción						
Descripción							
Fuente							
Categoría	Espacios Residenciales						
Región	General						
Tipo de programación	1-Programación 7/12						
Días de diseño							
Método de definición del día de diseño	1-Uso final predeterminado						
Uso final predeterminado	5-Calefacción						
Perfiles							
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Feb	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Mar	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Abr	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
May	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Jun	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jul	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Ago	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Sep	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Oct	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Nov	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción
Dic	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción	Horario Calefacción

Figura A5: Calendario de programación de calefacción correspondiente a la plantilla perfil uso CTE

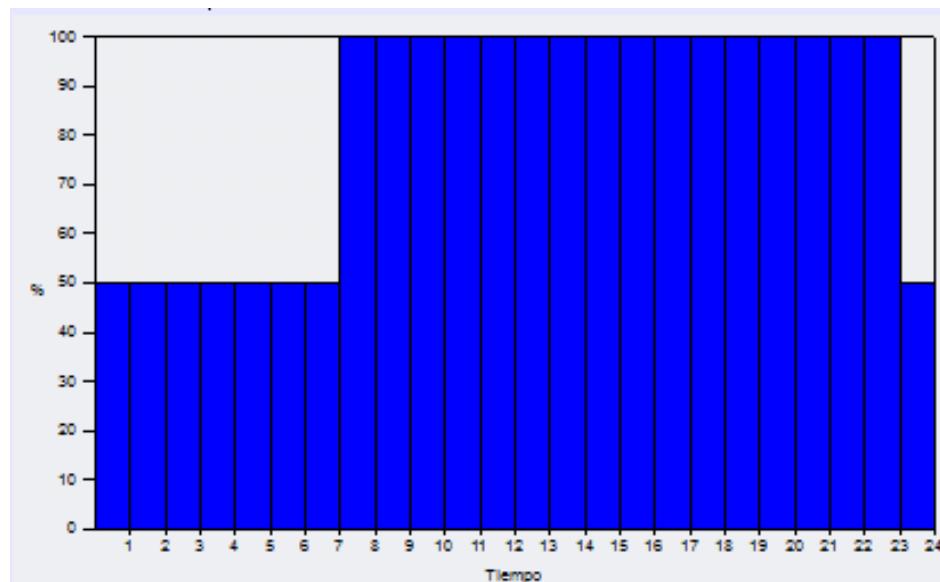
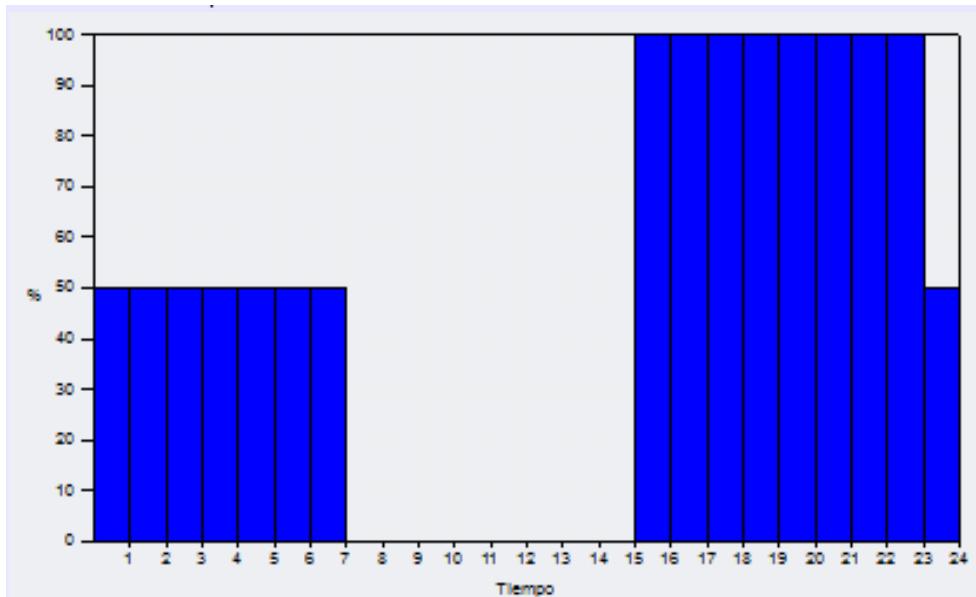


Figura A6: Horario y porcentaje de utilización de los equipos perteneciente a la programación de calefacción de la plantilla de uso CTE

- Programación de refrigeración:

General							
Nombre	CTE Refrigeración						
Descripción							
Fuente							
Categoría	Espacios Residenciales						
Región	General						
Tipo de programación	1-Programación 7/12						
Días de diseño							
Método de definición del día de diseño	1-Uso final predeterminado						
Uso final predeterminado	6-Refrigeración						
Perfiles							
Mes	Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Ene	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Feb	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Mar	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Abr	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
May	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Jun	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Jul	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Ago	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Sep	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...	Horario Refrigeración ...
Oct	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Nov	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off
Dic	Off	Off	Off	Off	Off	Off	Off

Figura A7: Calendario de programación de refrigeración correspondiente a la plantilla perfil uso CTE



**Figura A8: Horario y porcentaje de utilización de los equipos perteneciente a la programación de refrigeración de la plantilla de uso CTE**

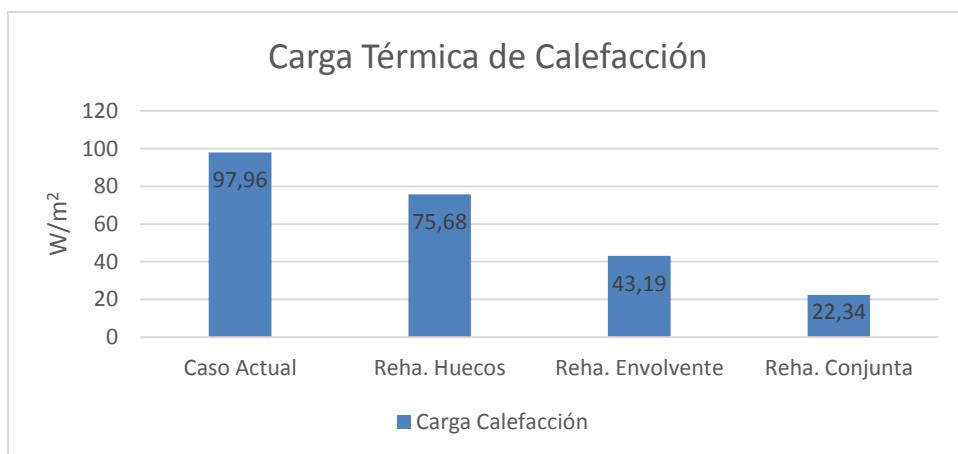
## Anexo II: Resultados de las simulaciones por edificio

En el siguiente anexo se muestran los datos obtenidos para cada una de las situaciones que se han estudiado a nivel edificio. Como aclaración decir que los números 1, 2, 3 y 4 que pueden aparecer en el eje de abscisas de las diferentes gráficas que muestran los valores de las cargas térmicas así como de las demandas y consumos energéticos corresponden con:

- 1: "Caso Actual"
- 2: "Rehabilitación de Huecos"
- 3: "Rehabilitación de la Envoltura"
- 4: "Rehabilitación Conjunta"

### Edificio 1:

#### *Carga de Calefacción:*



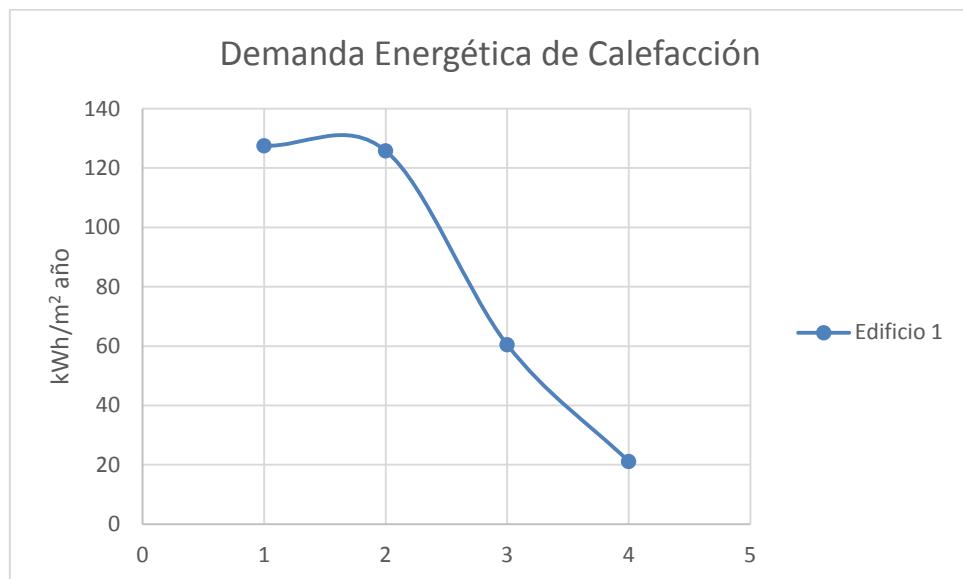
Gráfica A1: Carga térmica de calefacción para el edificio 1



Gráfica A2: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 1

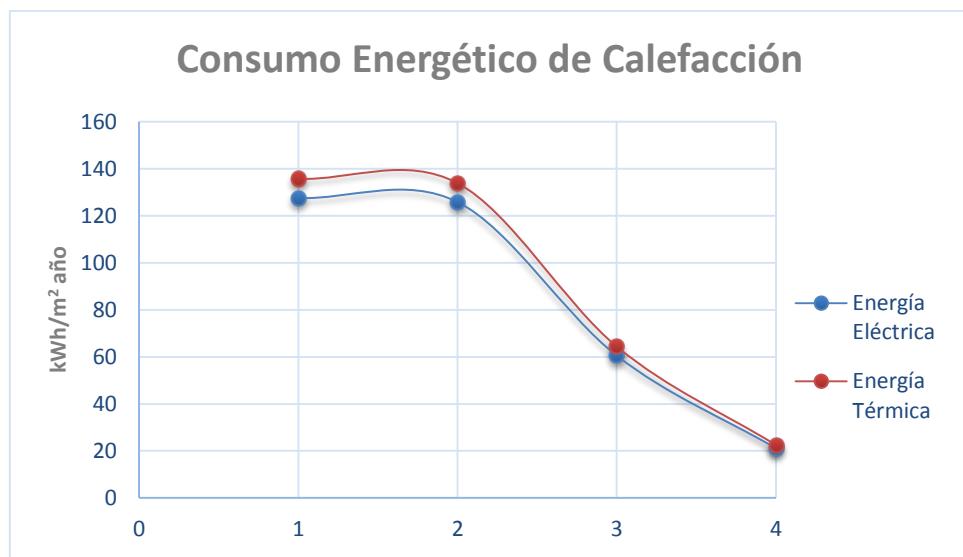
Como se puede ver la carga térmica de calefacción se ha reducido considerablemente con respecto al caso actual. La reducción ha sido progresiva pasando de  $97,96 \text{ W/m}^2$  a  $75,68 \text{ W/m}^2$ , lo que supone una disminución del 22,74%, únicamente reformando la carpintería; con la segunda actuación, la modificación de la envolvente, el valor obtenido ha sido de  $43,19 \text{ W/m}^2$  siendo en este caso una disminución del 55,91%; por último la simulación en la cual ambas se unen, supone una disminución del 77,19% con un valor de  $22,34 \text{ W/m}^2$ .

#### **Demandा energética de Calefacción:**



Gráfica A3: Demanda energética de calefacción del edificio 1

#### **Consumo energético de Calefacción:**

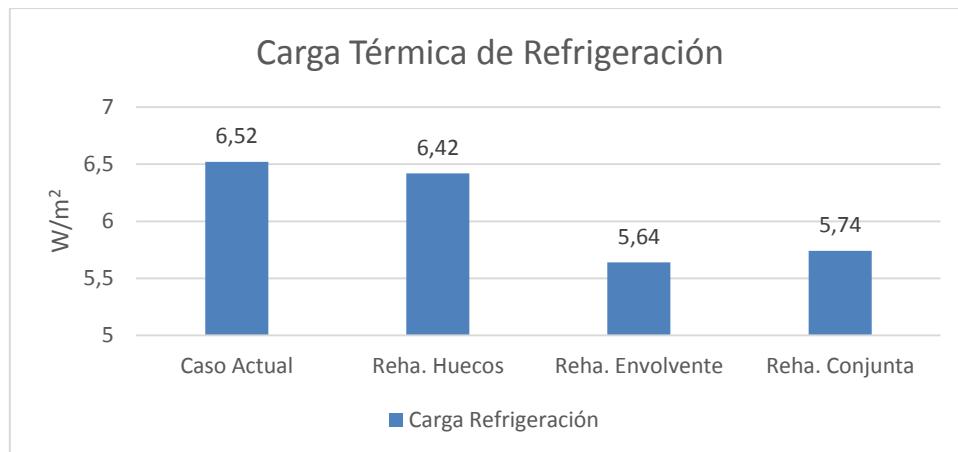


Gráfica A4: Consumo energético de calefacción del edificio 1 por energía utilizada

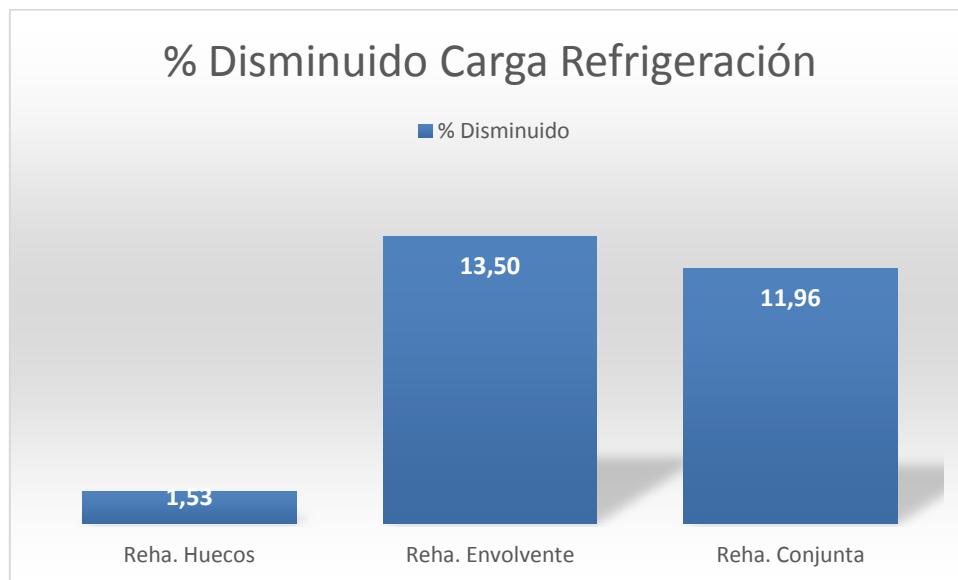
En estos casos se muestran la demanda y consumo energético que se ha realizado en el edificio en cada uno de los escenarios. Como ya se ha indicado en la parte 4 de la memoria los valores de demanda energética y consumo energético de calefacción van a coincidir si la

energía utilizada es eléctrica ya que el parámetro que los relaciona es el rendimiento, cuyo valor es 1. En el caso de utilizar energía térmica procedente de la combustión del gas natural el valor es de 0,94.

**Carga de Refrigeración:**

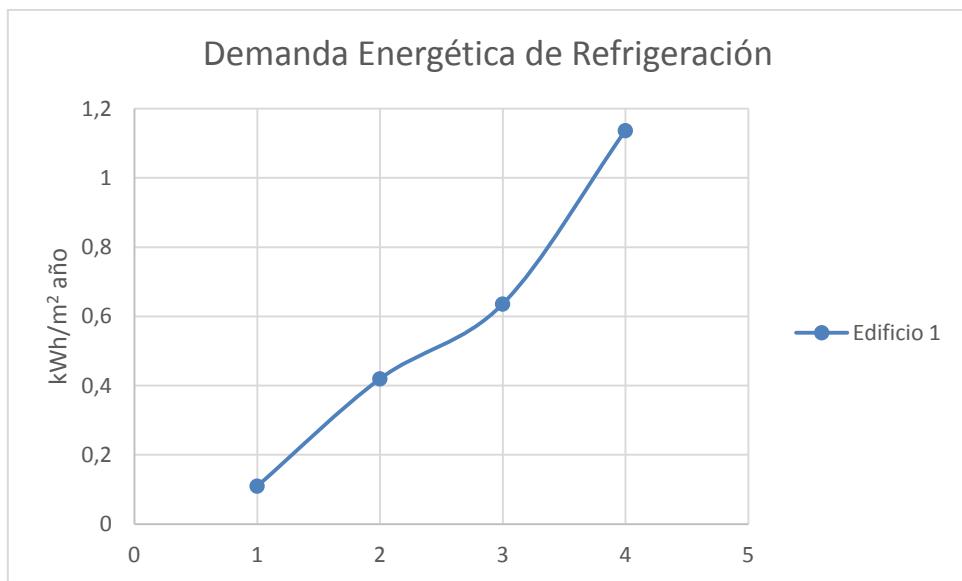


Gráfica A5: Carga térmica de refrigeración del edificio 1

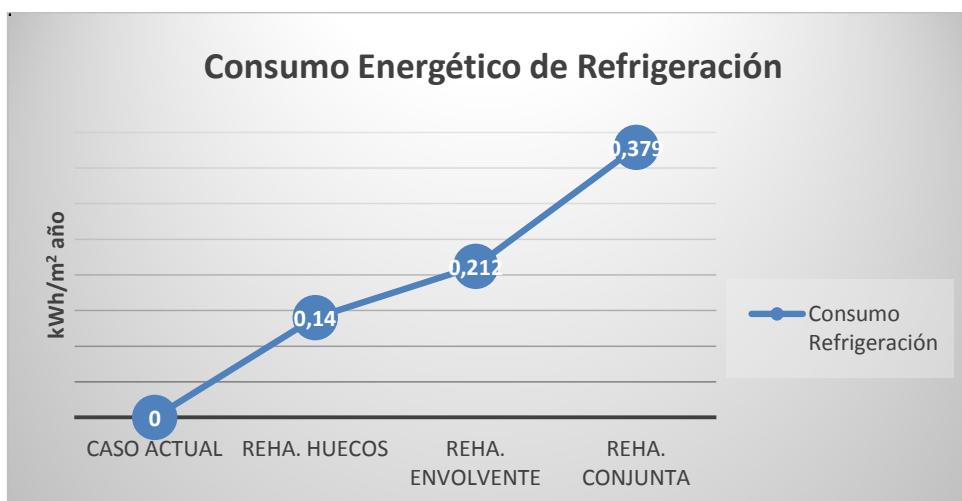


Gráfica A6: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 1

La carga de refrigeración también sufre una evolución descendente a lo largo de las dos primeras simulaciones, pero en el último de los escenarios es superior a la que le precede. Decir que a diferencia de las cargas de calefacción la disminución de estas es menos espectacular, disminuyendo muy poco con respecto al primer escenario.

**Demanda energética de Refrigeración:**

Gráfica A7: Demanda energética de refrigeración del edificio 1

**Consumo energético de Refrigeración:**

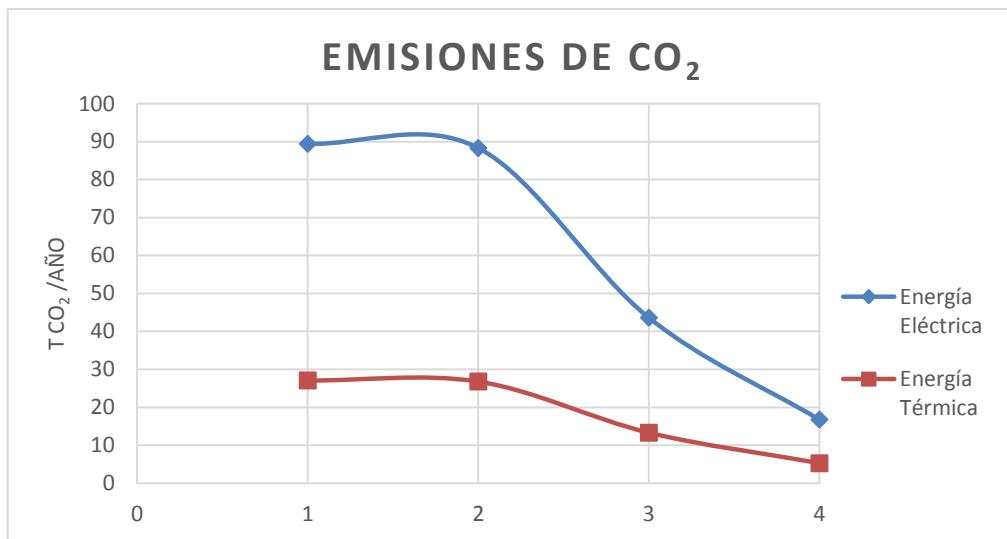
Gráfica A8: Consumo energético de refrigeración del edificio 1

El consumo energético de refrigeración se inicia desde un valor 0 debido a que en el caso actual se ha considerado que los usuarios no hacen uso de ningún equipo de refrigeración por lo que el consumo energético es nulo. Sin embargo, a diferencia del caso en consumo energético de calefacción, éste aumenta a medida que se ponen en práctica las diferentes medidas de rehabilitación en el edificio, alcanzando casi  $0,4 \text{ kWh/m}^2 \text{ año}$  de consumo energético.

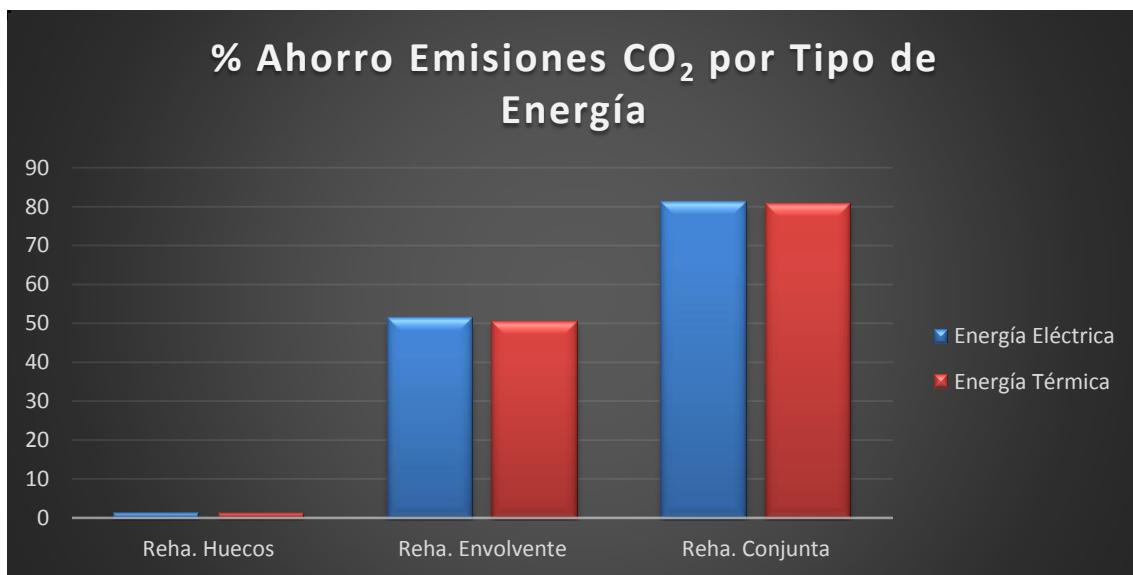
La demanda energética de refrigeración por el contrario no es 0 en ninguno caso puesto que indica la energía que el edificio necesita para satisfacer las necesidades de confort. Además sus valores son superiores con respecto a los consumos energéticos de refrigeración. Esto se debe de nuevo a la relación que hay entre demanda energética y consumo energético, cuya piedra

angular es el rendimiento. Para este caso el valor de dicho parámetro se recuerda que es de 3, aunque ya se indicó con anterioridad en la memoria.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**



Gráfica A9: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 1 por tipo de energía utilizada

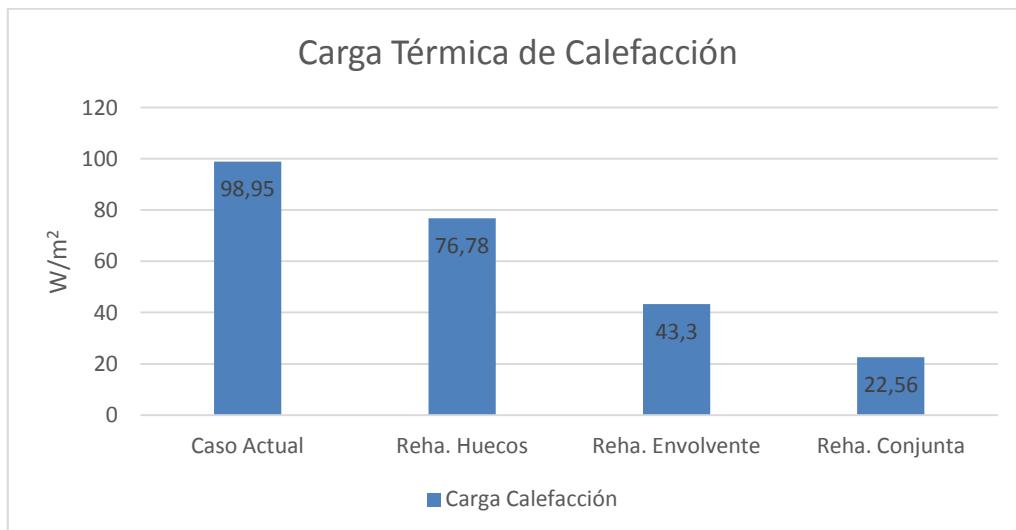


Gráfica A10: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 1 por tipo de energía utilizada

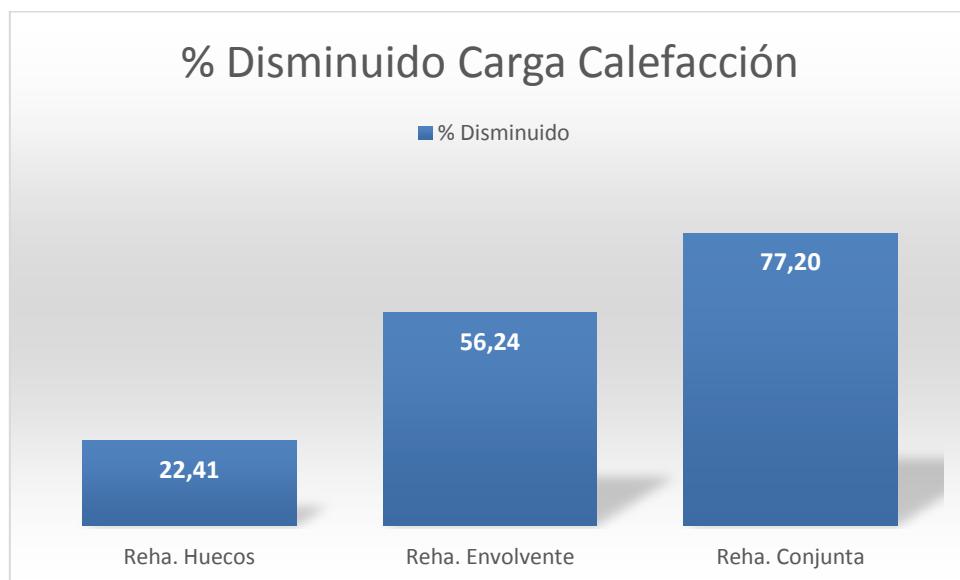
En estas gráficas se recogen respectivamente las toneladas liberadas de CO<sub>2</sub> anualmente (que incluyen calefacción, refrigeración, A.C.S...) y el ahorro que se produce con respecto a la situación inicial para cada una de las energías contempladas. Obviamente para el caso en el que se utiliza la energía térmica procedente de la combustión del gas natural las emisiones de CO<sub>2</sub> son notablemente inferiores. Sin embargo, la energía eléctrica muestra un mayor porcentaje de ahorro con respecto al caso inicial alcanzando en el mejor de los escenarios un ahorro del 81,24% mientras que en el caso del gas natural el valor máximo de ahorro es de 80,59%.

**Edificio 2:**

***Carga de Calefacción:***

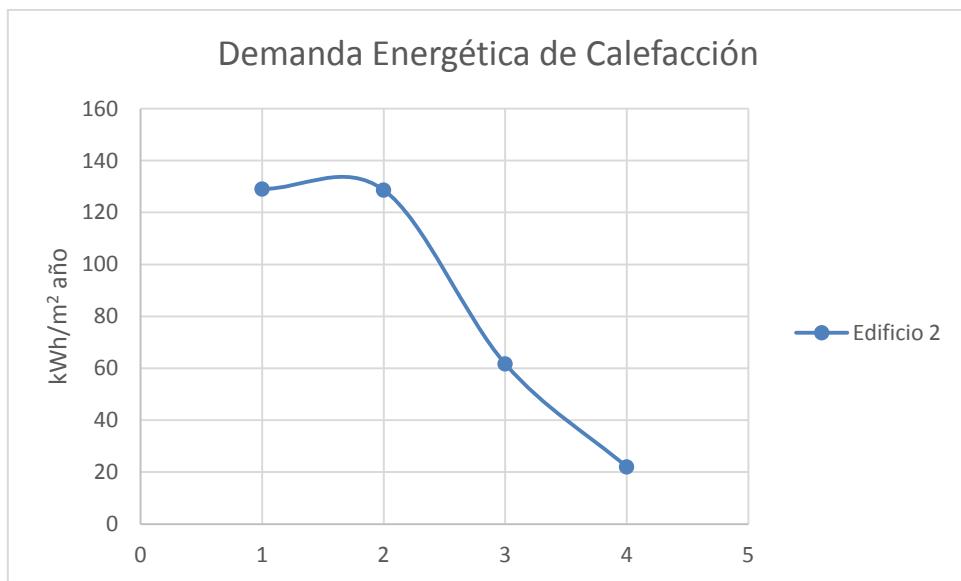


Gráfica A11: Carga térmica de calefacción para el edificio 2 por tipo de energía utilizada

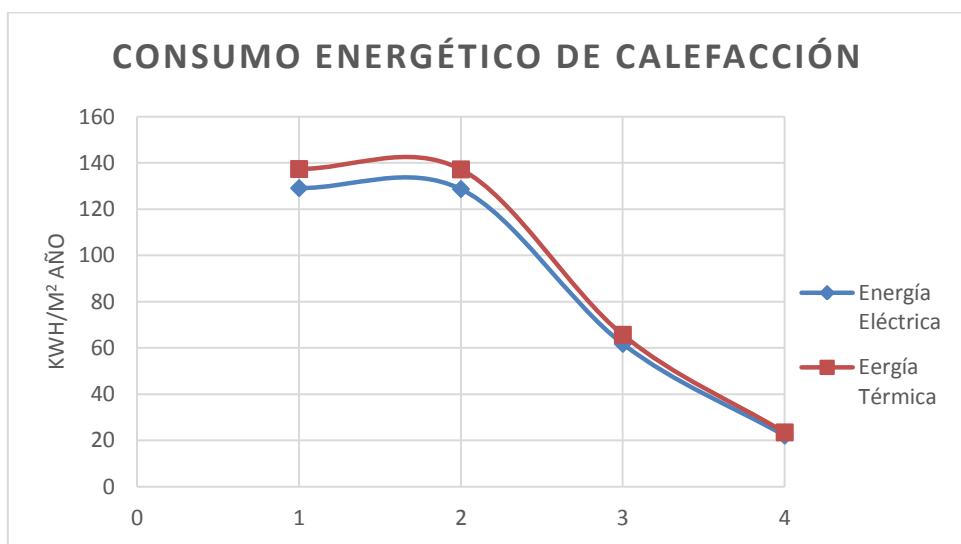


Gráfica A12: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 2

La evolución es la misma que en el primero de los edificios, produciéndose una disminución de la carga térmica de calefacción debido a las diferentes medidas de rehabilitación aplicadas. Los valores son superiores al edificio previo con valores de 98,95 W/m<sup>2</sup>, 76,78 W/m<sup>2</sup>, 43,3 W/m<sup>2</sup> y 22,56 W/m<sup>2</sup> para cada una de las simulaciones, lo que significa unos valores de disminución de esta de 22,41%, 55,24% y 77,2% para cada una de las actuaciones estudiadas.

**Demanda energética de Calefacción:**

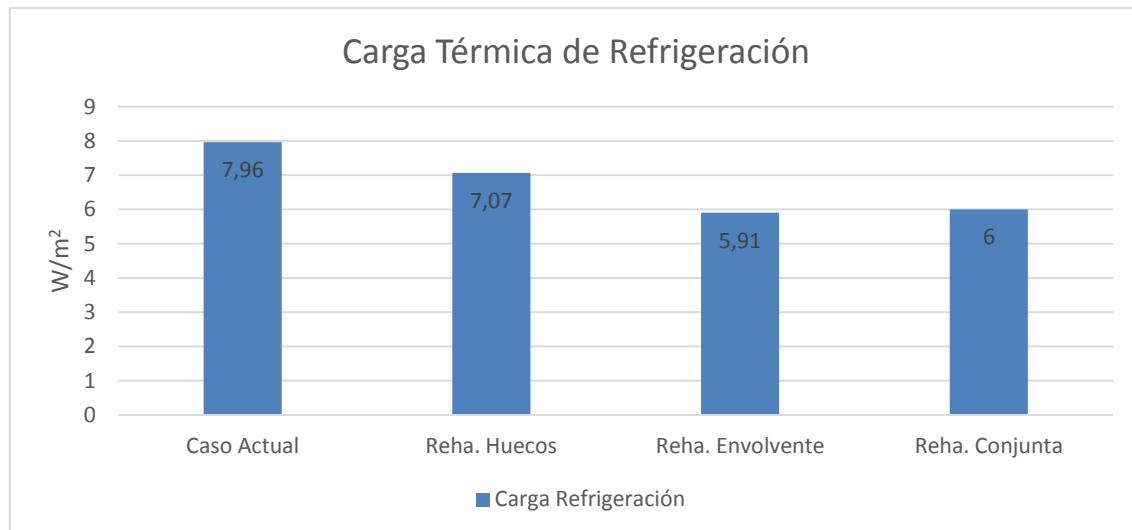
Gráfica A13: Demanda energética de calefacción del edificio 2

**Consumo energético de Calefacción:**

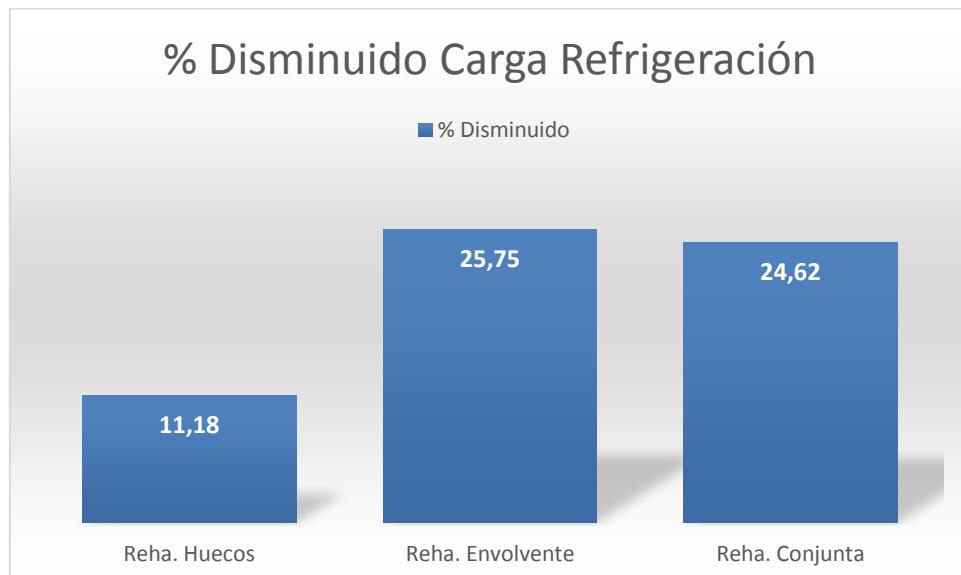
Gráfica A14: Consumo energético de calefacción del edificio 2 por energía utilizada

Para este caso los valores de consumo energético de calefacción (que coinciden con los de la demanda) utilizando electricidad han sido 129,11 kWh/m<sup>2</sup> año, 128,7 kWh/m<sup>2</sup> año, 61,75 kWh/m<sup>2</sup> año y 22,079 kWh/m<sup>2</sup> año para cada una de las situaciones simuladas; mientras que para el caso del gas natural han sido 137,36 kWh/m<sup>2</sup> año, 137,21 kWh/m<sup>2</sup> año, 65,69 kWh/m<sup>2</sup> año y 23,48 kWh/m<sup>2</sup> año. El dato más significativo en este caso es el pequeño ahorro que ha supuesto en el consumo energético de calefacción la actuación sobre los huecos.

**Carga de Refrigeración:**

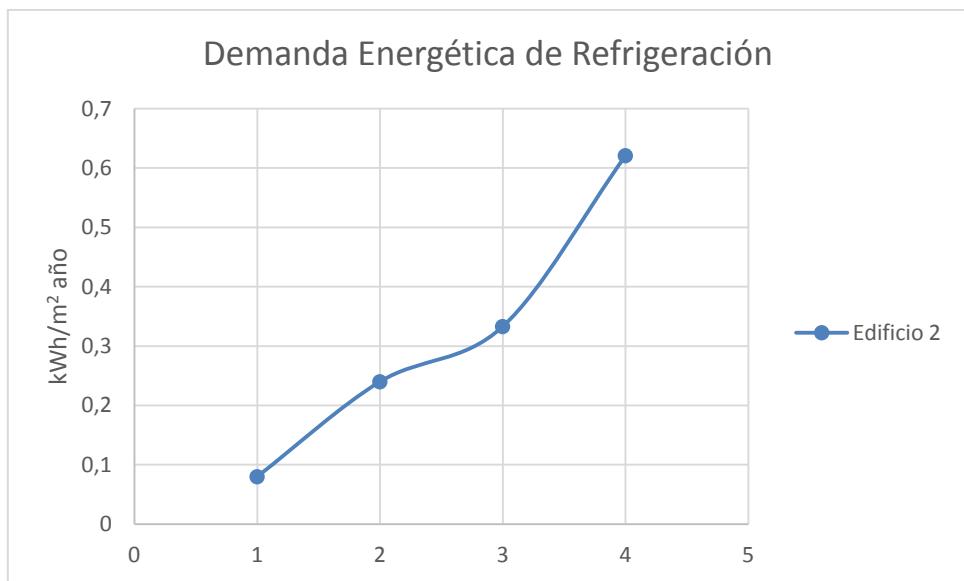


Gráfica A15: Carga térmica de refrigeración del edificio 2

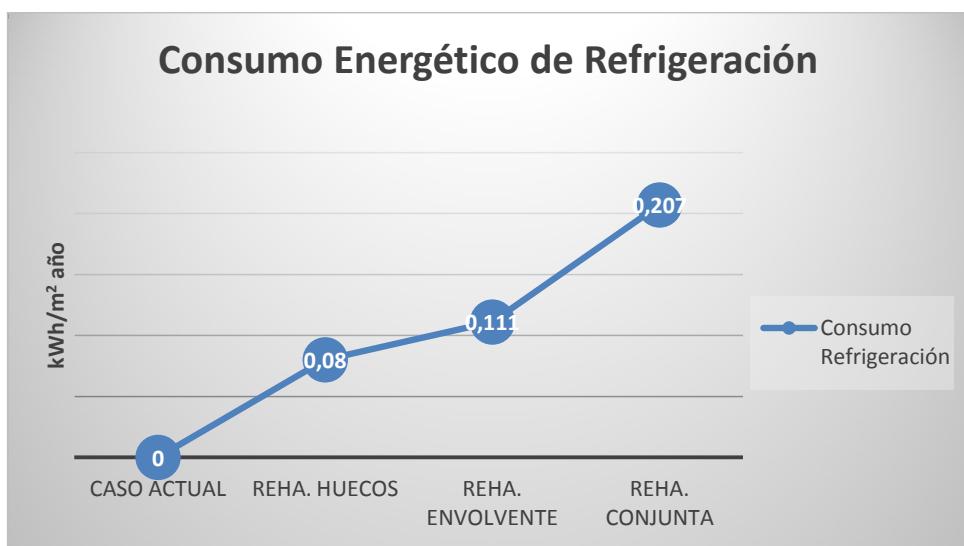


Gráfica A16: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 1

Los valores de carga térmica de refrigeración son superiores con respecto al edificio 1, siendo de 7,96 W/m<sup>2</sup>, 7,07 W/m<sup>2</sup>, 5,91 W/m<sup>2</sup> y 6 W/m<sup>2</sup> respectivamente para cada escenario. También el porcentaje de disminución de dicha carga es superior en algo más de 10 puntos para cada mejora en comparación con el edificio anterior.

**Demanda energética de Refrigeración:**

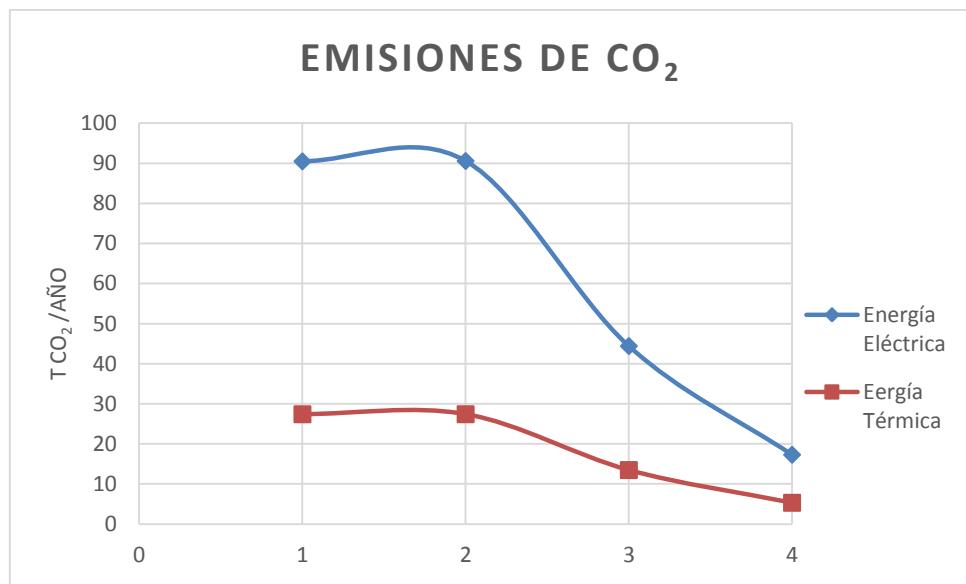
Gráfica A17: Demanda energética de refrigeración del edificio 2

**Consumo energético de Refrigeración:**

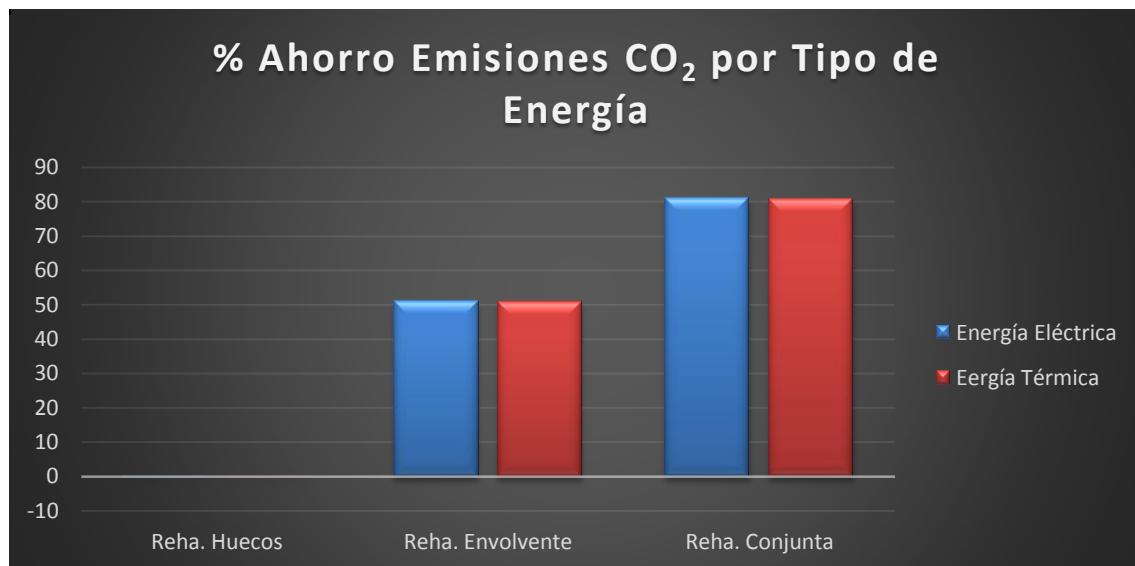
Gráfica A18: Consumo energético de refrigeración del edificio 1

En este caso el consumo energético anual y por m<sup>2</sup> no alcanza ni siquiera los 0,25 kWh, el cual es un valor inferior al obtenido antes. También se puede ver que a medida que se suceden las soluciones de rehabilitación esta aumenta. Esto se debe a que una mejora en la envolvente térmica (huecos y aislante) deriva en que la energía quede almacenada dentro de la vivienda haciendo que el consumo energético para que se disipe sea mayor.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**



Gráfica A19: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 2 por tipo de energía utilizada

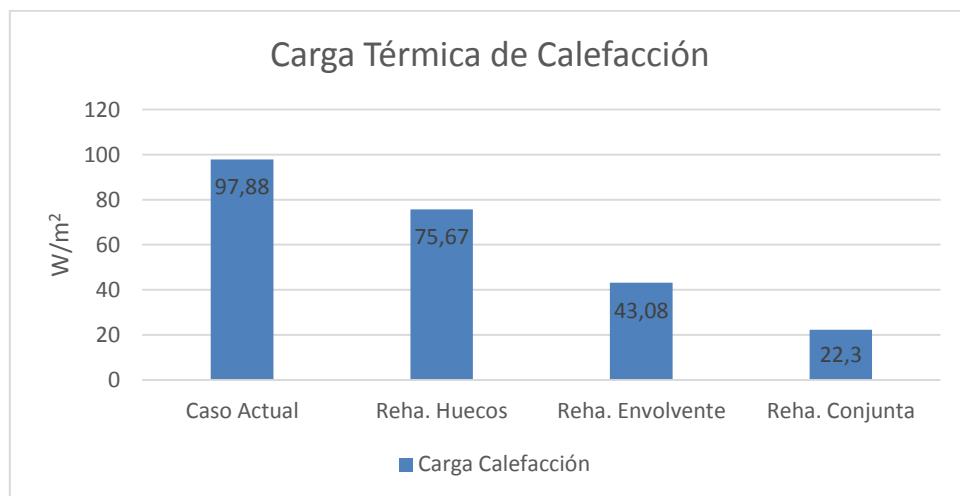


Gráfica A20: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 2 por tipo de energía utilizada

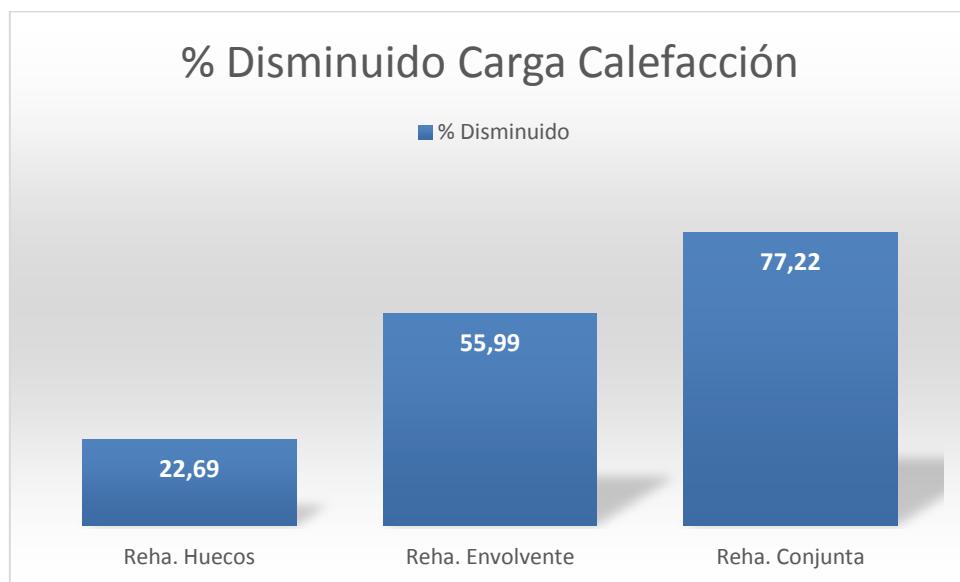
El valor que se obtiene mediante el uso de electricidad alcanza las 90 toneladas/año para la situación inicial mientras que para el uso de la energía térmica es inferior a 30 toneladas/año, lo que supone una reducción superior al 66% utilizando la segunda de ellas.

**Edificio 3:**

***Carga de Calefacción:***

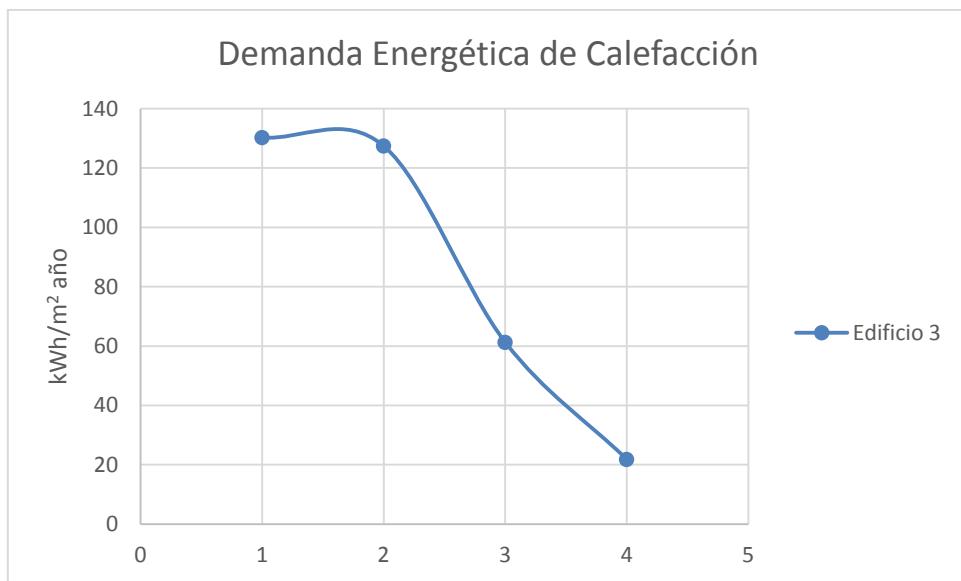


Gráfica A21: Carga térmica de calefacción para el edificio 3

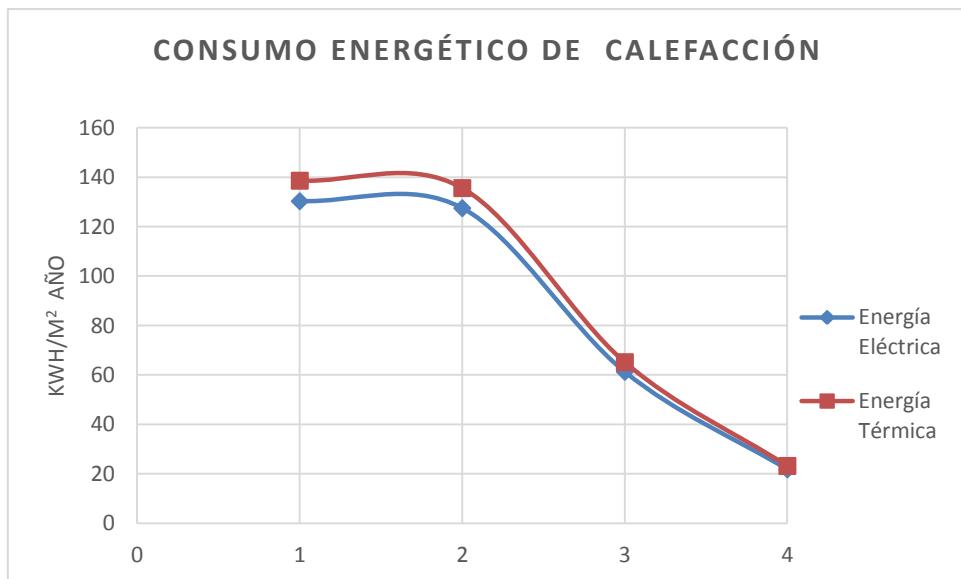


Gráfica A22: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 3

Las cargas térmicas de calefacción para cada una de las simulaciones se sitúan en torno a los valores de los edificios que le preceden, provocando esto que también los porcentajes de disminución de estas sean prácticamente iguales. Esto se debe a que la tipología de los edificios es la misma al igual que sus características constructivas (transmitancias térmicas), defiriendo únicamente en la localización de cada una de ellas.

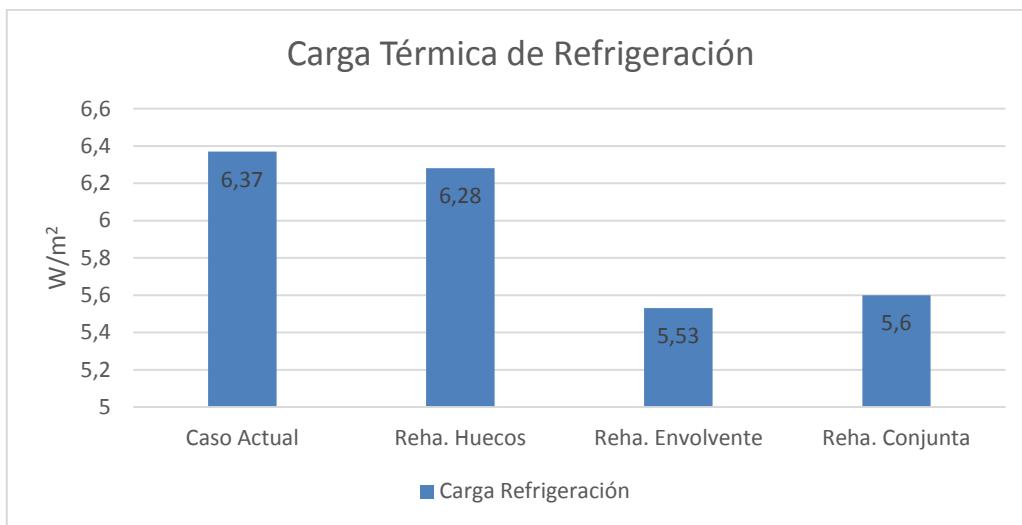
**Demanda energética de Calefacción:**

Gráfica A23: Demanda energética de calefacción del edificio 3

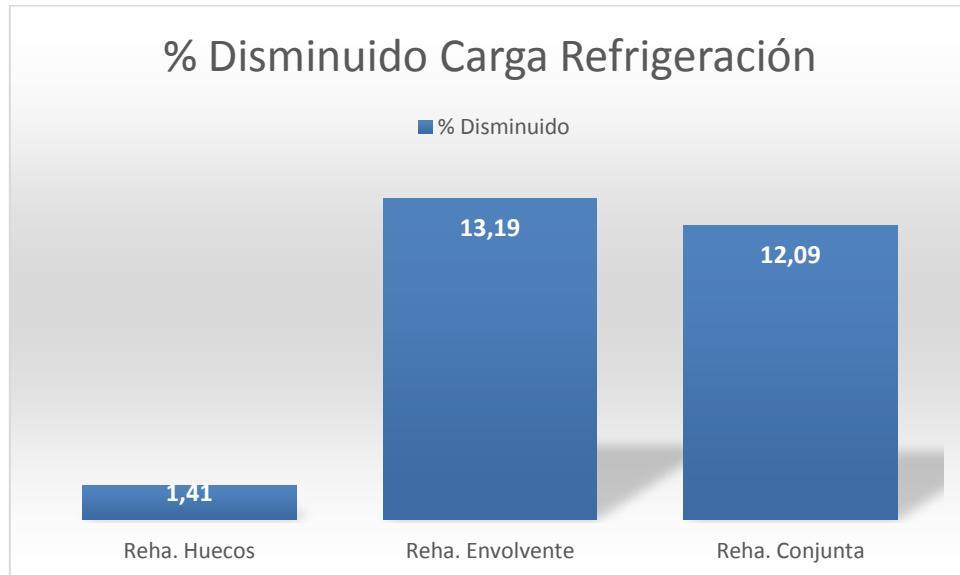
**Consumo energético de Calefacción:**

Gráfica A24: Consumo energético de calefacción del edificio 3 por energía utilizada

Los valores para el consumo energético de calefacción son en este caso de  $130,3 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ,  $127,48 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ,  $61,29 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$  y  $21,83 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$  para el caso eléctrico; mientras que para el caso del gas natural aumentan hasta los valores de  $138,61 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ,  $135,62 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ ,  $65,2 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$  y  $23,22 \text{ kWh}/\text{m}^2 \text{ año}$ . Como se puede ver el consumo energético derivado del uso del gas natural esta siempre por encima del otro tipo de energía utilizada.

**Carga de Refrigeración:**

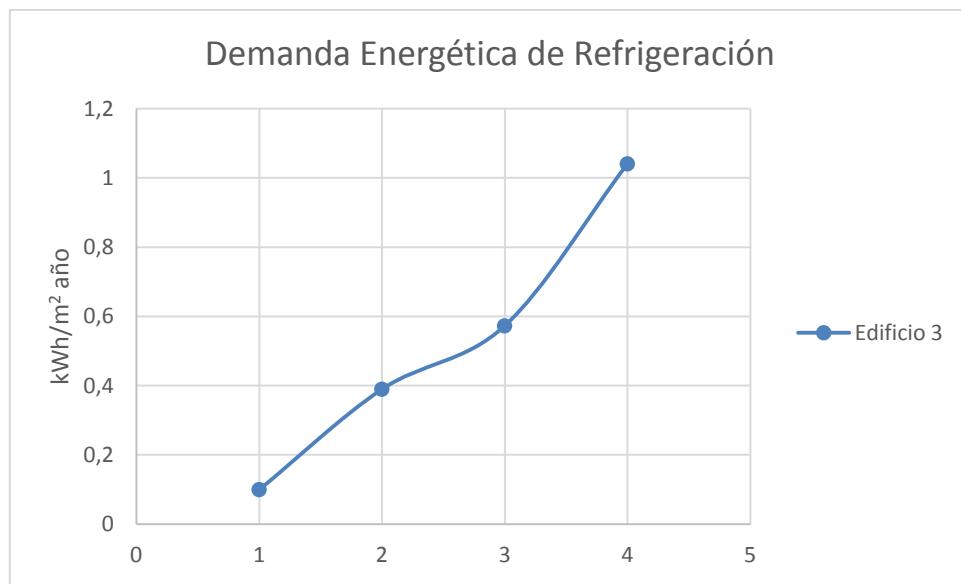
Gráfica A25: Carga térmica de refrigeración del edificio 3



Gráfica A26: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 3

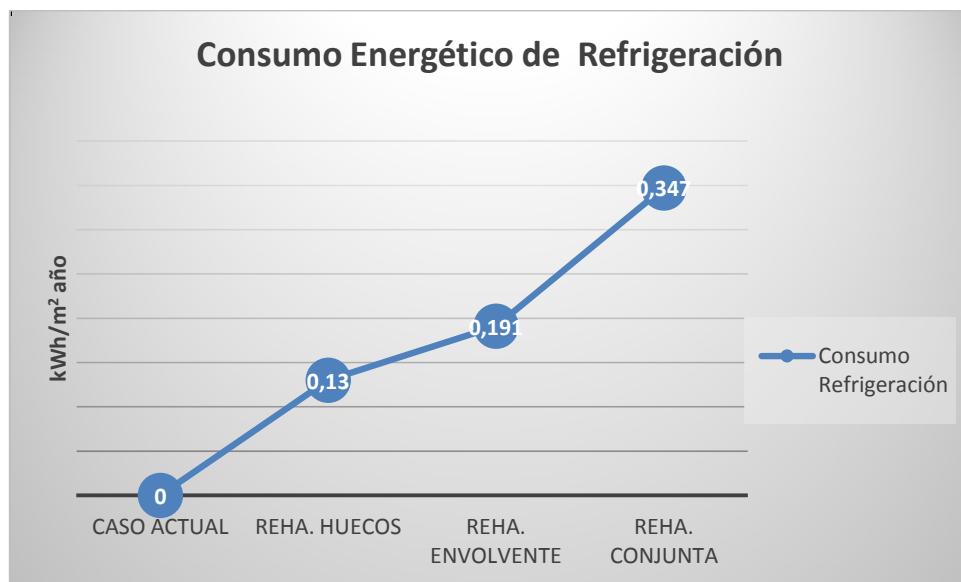
Los valores de la carga de refrigeración se asemejan más al edificio 1, así como la disminución de dicha carga en valor porcentual. La disminución porcentual apenas es de 1,4 con la primera mejora, ya que únicamente se pasa de una carga de refrigeración de 6,37 W/m<sup>2</sup> a 6,28 W/m<sup>2</sup>; la segunda asciende hasta un valor de 13,19% reduciéndose hasta 5,54 W/m<sup>2</sup>; para cerrar con una disminución del 12,09% siendo el valor de 5,6 W/m<sup>2</sup>.

**Consumo energético de Refrigeración:**



Gráfica A27: Demanda energética de refrigeración del edificio 3

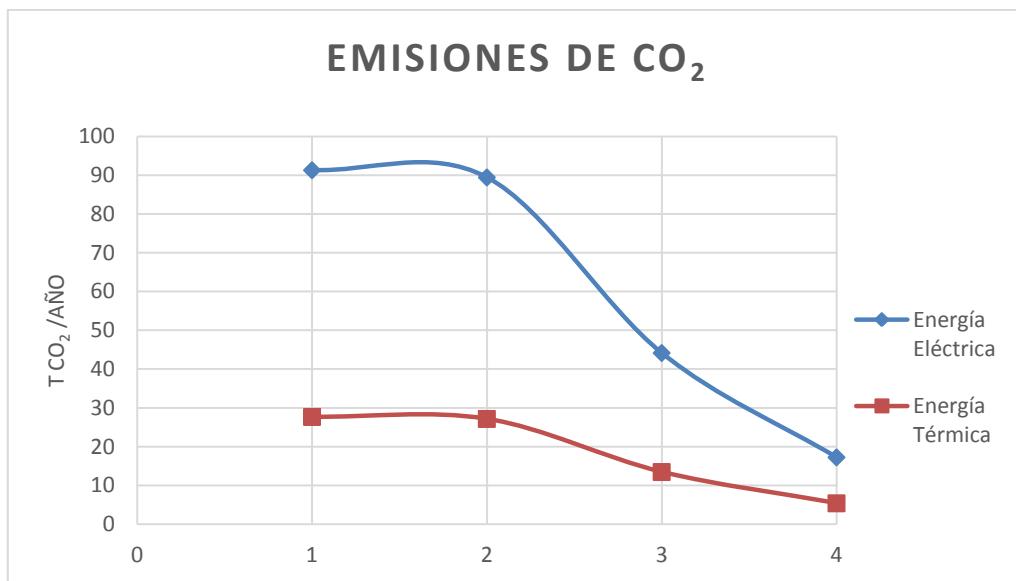
**Consumo energético de Refrigeración:**



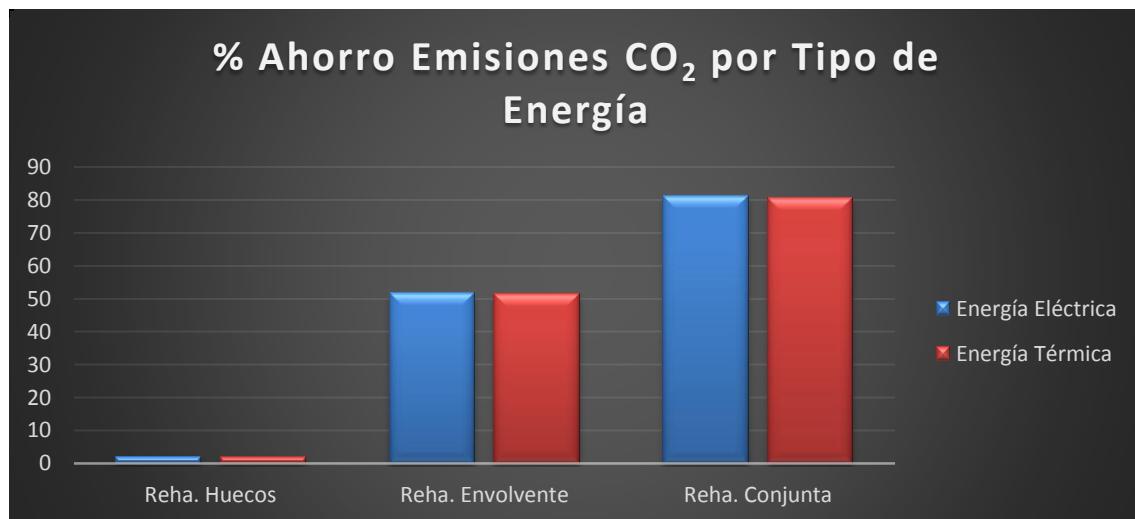
Gráfica A28: Consumo energético de refrigeración del edificio 3

Para el caso del presente edificio el valor máximo alcanzado es 0,347 kWh/m<sup>2</sup> año, similar al primero de los edificios pero por encima del valor de 0,207 kWh/m<sup>2</sup> año del edificio anterior.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**

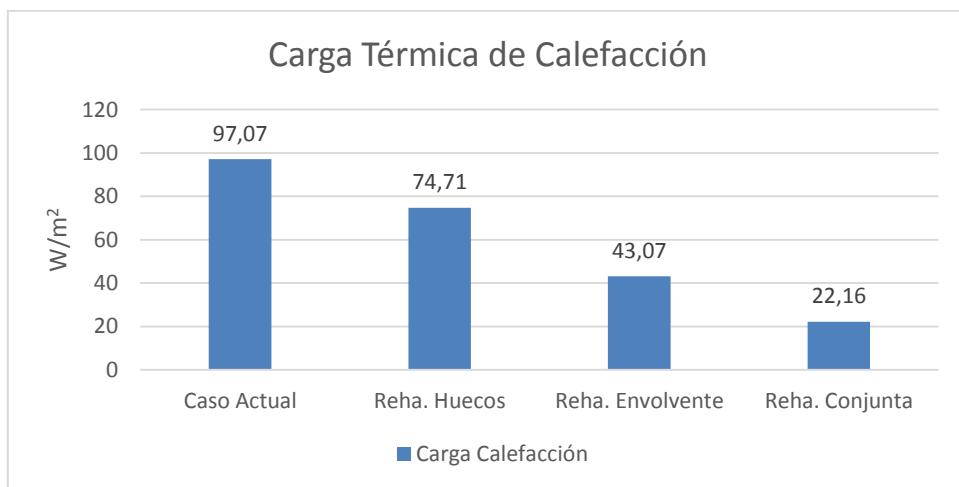


Gráfica A29: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 3 por tipo de energía utilizada

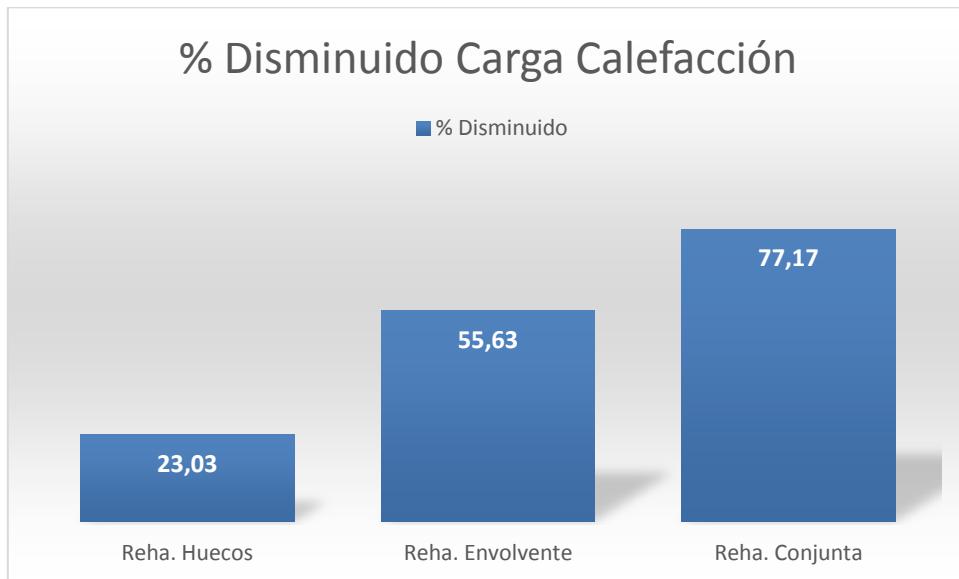


Gráfica A30: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 3 por tipo de energía utilizada

Los valores siguen el mismo desarrollo que los que se han mostrado en los anteriores edificios para la emisión de CO<sub>2</sub> y el porcentaje de ahorro que esto supone. El caso inicial de “todo” electricidad alcanza un valor de 91,34 t CO<sub>2</sub>/año que es superior a los anteriores, mientras que para el caso de usar energía térmica el mayor valor es de 27,67 t CO<sub>2</sub>/año. El mínimo valor para cada uno de ellos es de 17,25 t CO<sub>2</sub>/año y 5,39 t CO<sub>2</sub>/año respectivamente, suponiendo un ahorro con respecto al caso inicial del 81,12% y el 80,52%.

**Edificio 4:*****Carga de Calefacción:***

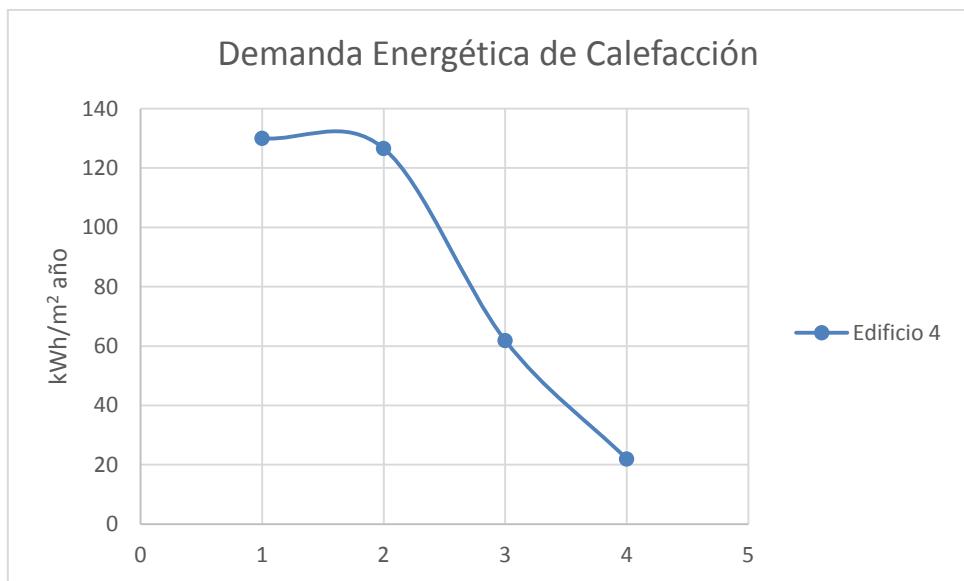
Gráfica A31: Carga térmica de calefacción para el edificio 4



Gráfica A32: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 4

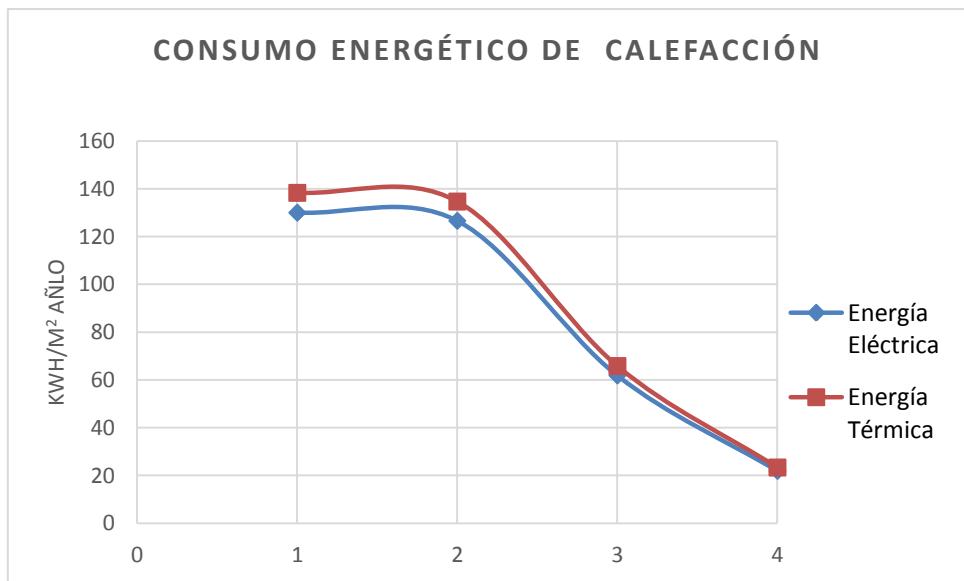
Los valores en este caso son 97,07 W/m<sup>2</sup>, 74,71 W/m<sup>2</sup>, 43,07 W/m<sup>2</sup> y 22,16 W/m<sup>2</sup>; lo que supone una disminución de la carga térmica de calefacción de 23,03%, 55,63% y 77,17% al llevar a cabo las medidas propuestas. Como se puede ver son casi exactamente a los obtenidos de los demás edificios al ser de la misma tipología, tener las mismas características constructivas....

**Demanda energética de Calefacción:**



Gráfica A33: Demanda energética de calefacción del edificio 4

**Consumo energético de Calefacción:**

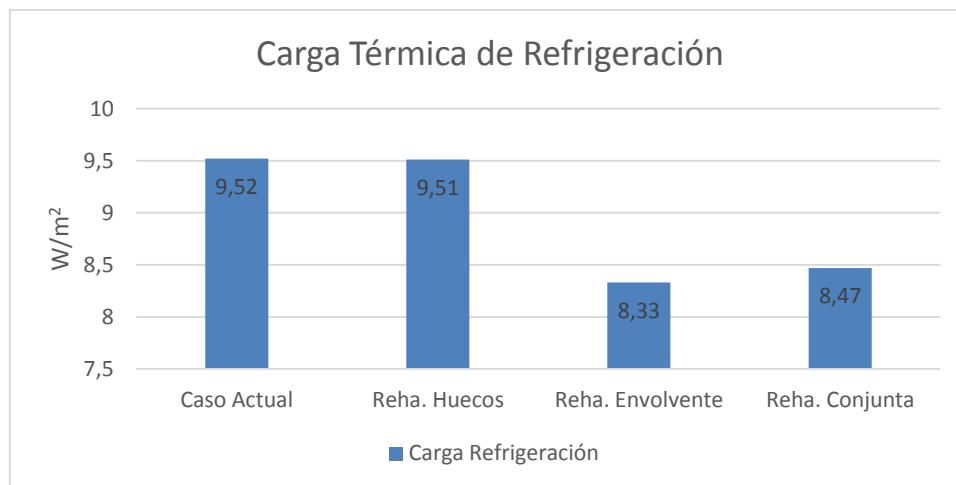


Gráfica A34: Consumo energético de calefacción del edificio 4 por energía utilizada

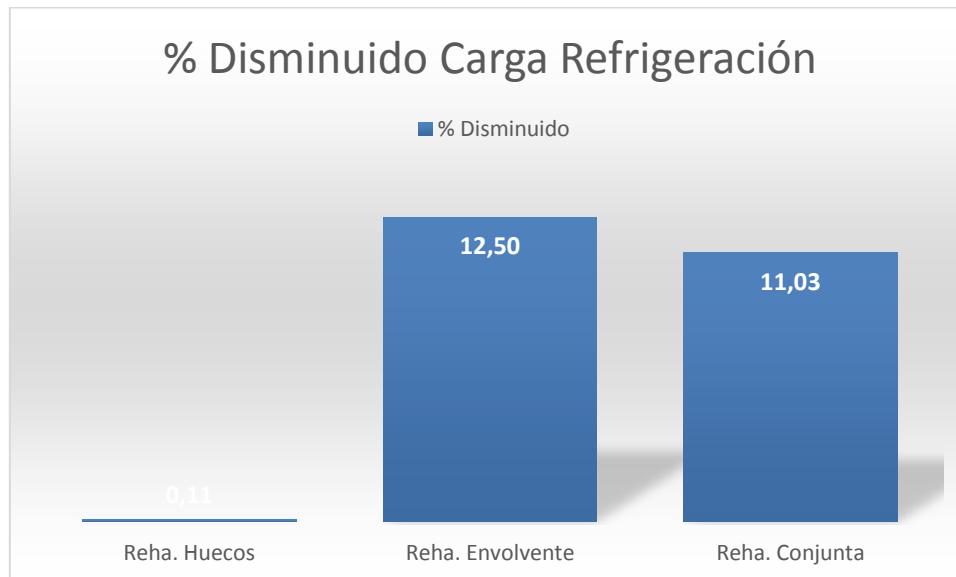
Los valores en el consumo energético continúan siendo muy parecidos por las diferentes razones que ya se han enumerado con anterioridad.

Los valores máximos y mínimos para cada tipo de energía son 130,06 kWh/ m<sup>2</sup> año y 21,98 kWh/ m<sup>2</sup> año respectivamente para el caso de uso de electricidad; y 138,36 kWh/ m<sup>2</sup> año y 23,38 kWh/m<sup>2</sup> año para el caso de uso de energía térmica procedente de la quema del gas natural.

**Carga de Refrigeración:**



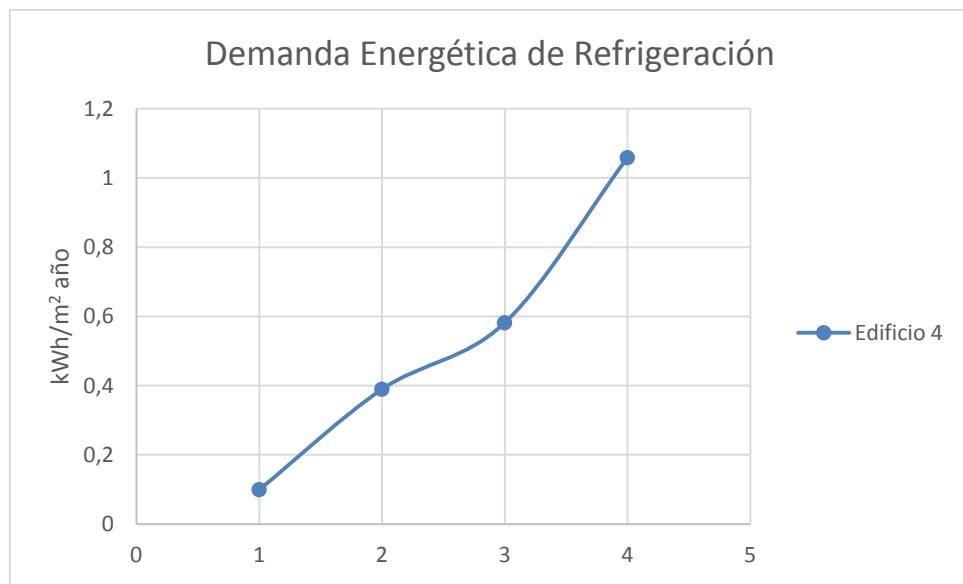
Gráfica A35: Carga térmica de refrigeración del edificio 4



Gráfica A36: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 4

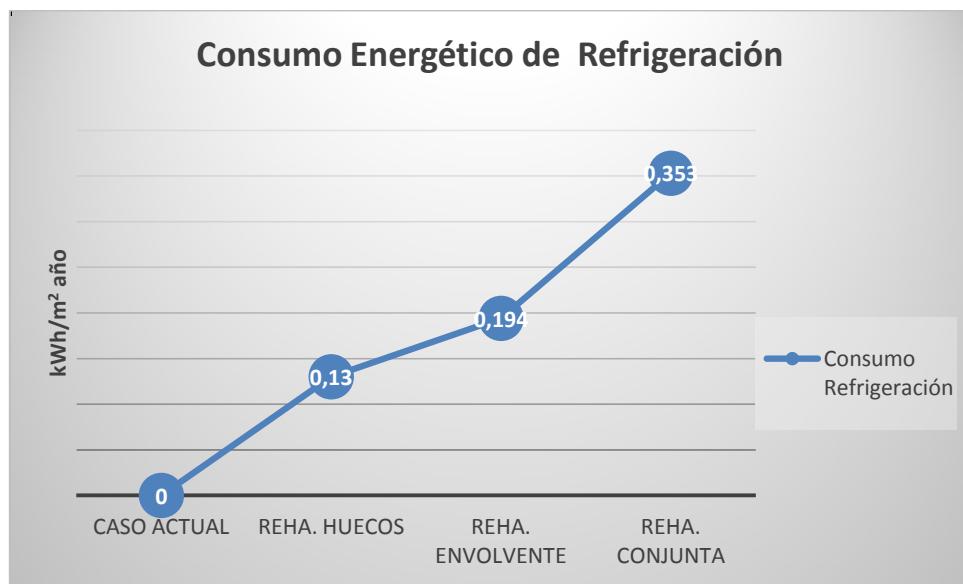
Lo que llama la atención al ver estas gráficas es que el porcentaje disminuido al realizar la primera actuación de la rehabilitación sea del 0,11%.

**Demanda energética de Refrigeración:**



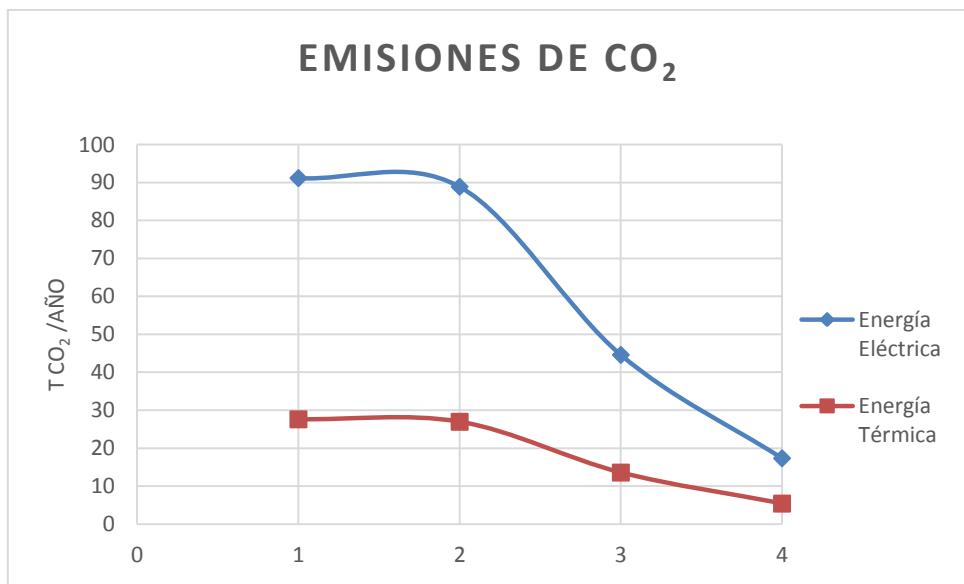
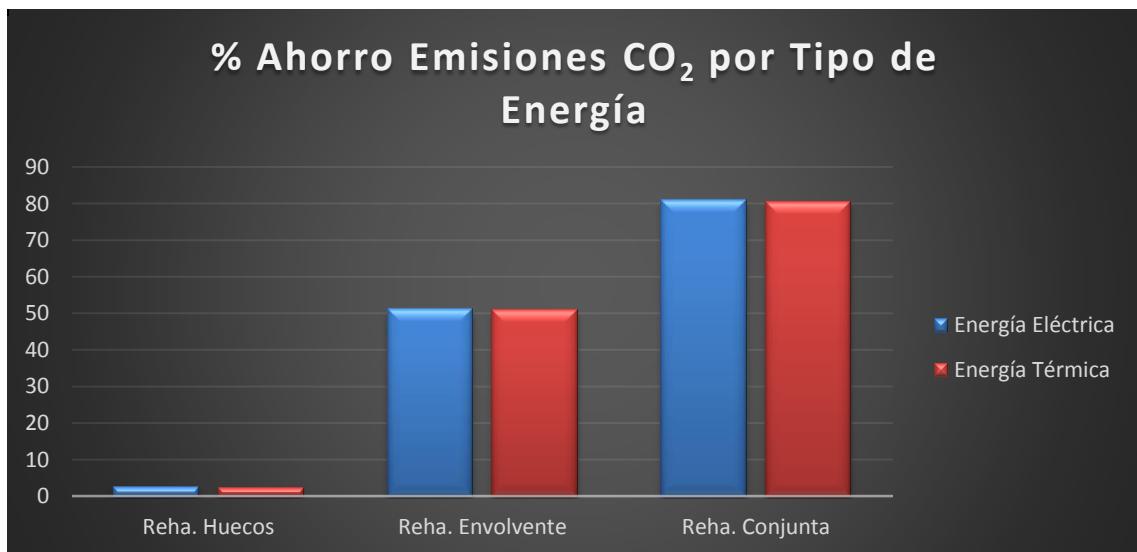
Gráfica A37: Demanda energética de refrigeración del edificio 4

**Consumo energético de Refrigeración:**



Gráfica A38: Consumo energético de refrigeración del edificio 4

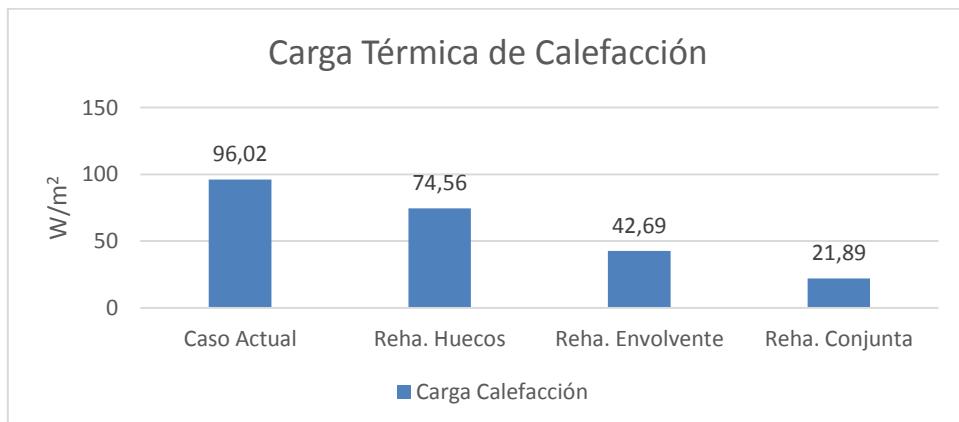
Los valores obtenidos son de 0,13 kWh/ m<sup>2</sup> año para la simulación 2; 0,19 kWh/ m<sup>2</sup> año para la simulación 3 y 0,35 kWh/ m<sup>2</sup> año para la última de ellas, los cuales se ven claramente en el gráfico superior.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**Gráfica A39: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 4 por tipo de energía utilizadaGráfica A40: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 4 por tipo de energía utilizada

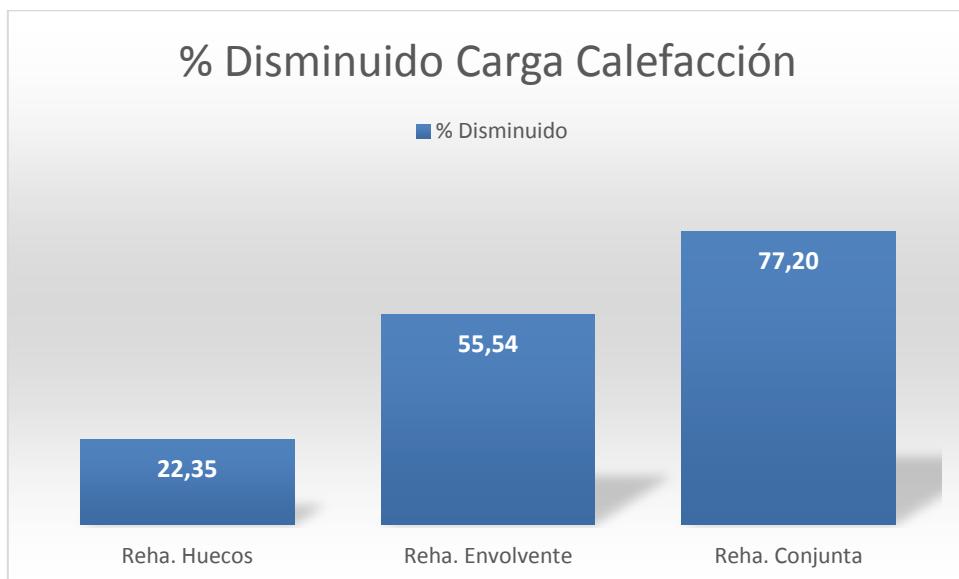
Se puede contemplar la misma evolución para el resto de datos obtenidos de los diferentes edificios. El caso inicial eléctrico alcanza un valor de 91,18 t CO<sub>2</sub>/año, mientras que para el caso de usar energía térmica el mayor valor es de 27,63 t CO<sub>2</sub>/año. El mínimo valor para cada uno de ellos es de 17,37 t CO<sub>2</sub>/año y 5,43 t CO<sub>2</sub>/año respectivamente, suponiendo un ahorro con respecto al caso inicial del 80,95% y el 80,35%.

**Edificio 5:**

***Carga de Calefacción:***



Gráfica A41: Carga térmica de calefacción para el edificio 5

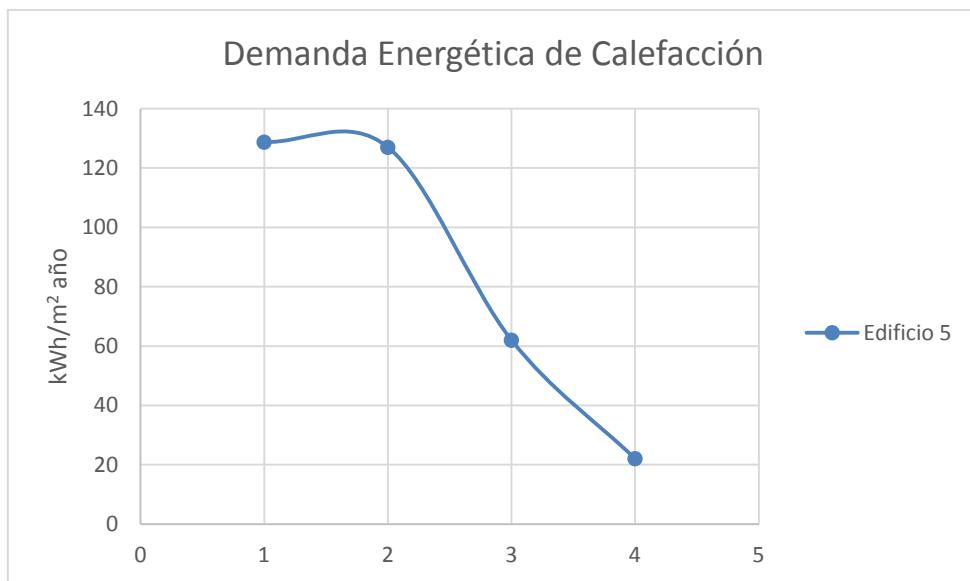


Gráfica A42: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 5

Estos resultados pertenecen a una nueva tipología, siendo la de “Bloque 2” la cual posee una mayor superficie útil de la planta. Sin embargo, los resultados como se pueden ver son similares a los que se han dado para la tipología de “Bloque 1”.

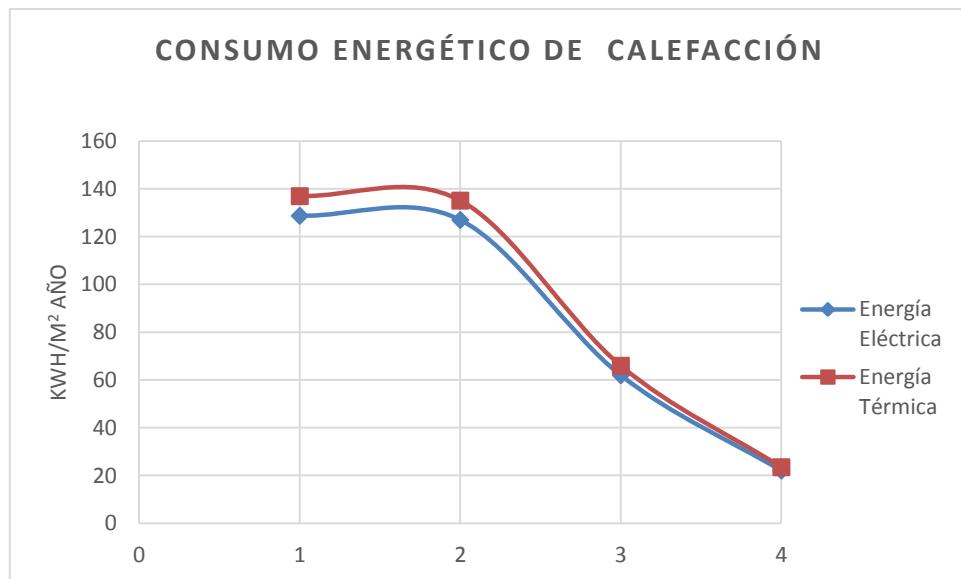
Esto se debe a que comparten las mismas características constructivas con los anteriores. Los resultados varían de 96,02 W/m<sup>2</sup> en la situación inicial hasta 21,89 W/m<sup>2</sup> como resultado de las mejoras acometidas. Estas mejoras suponen en el caso de llevarlas a cabo de manera conjunta una disminución de la carga de calefacción del 77,2%.

**Demanda energética de Calefacción:**



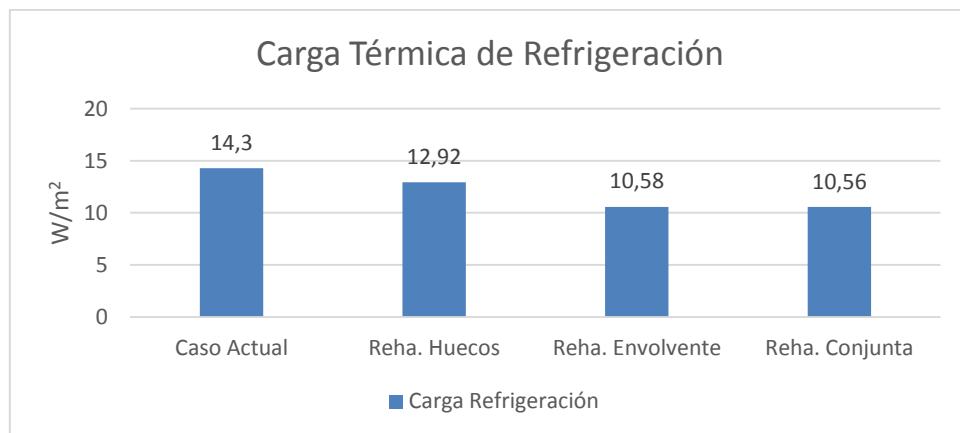
Gráfica A43: Demanda energética de calefacción del edificio 5

**Consumo energético de Calefacción:**

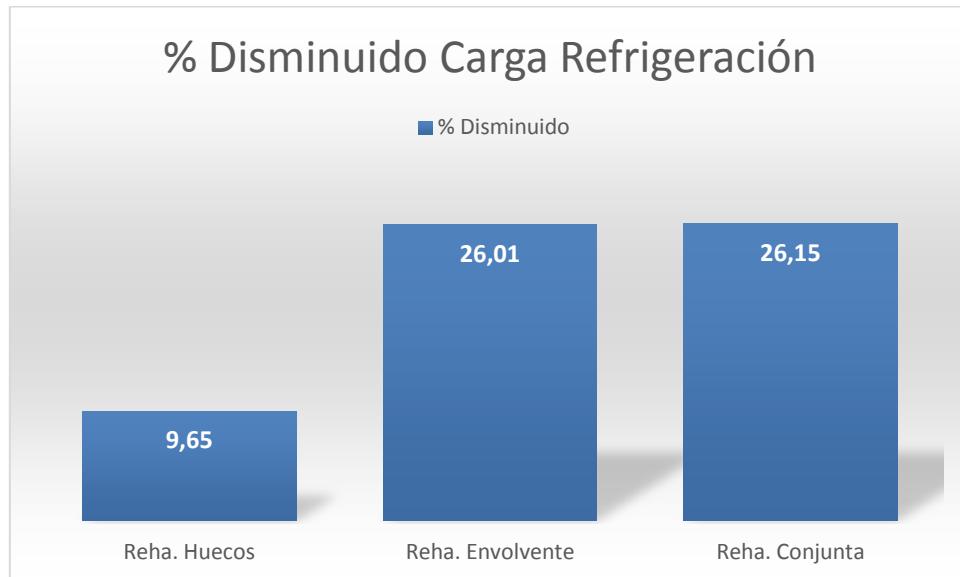


Gráfica A 44: Consumo energético de calefacción del edificio 5 por energía utilizada

Los valores de ahorro que se producen en el consumo energético de calefacción son de 1,35% para la modificación de los huecos, 51,84% si se realiza únicamente la modificación de la envolvente y un ahorro máximo del 82,84% si se realizan las dos conjuntamente.

**Carga de Refrigeración:**

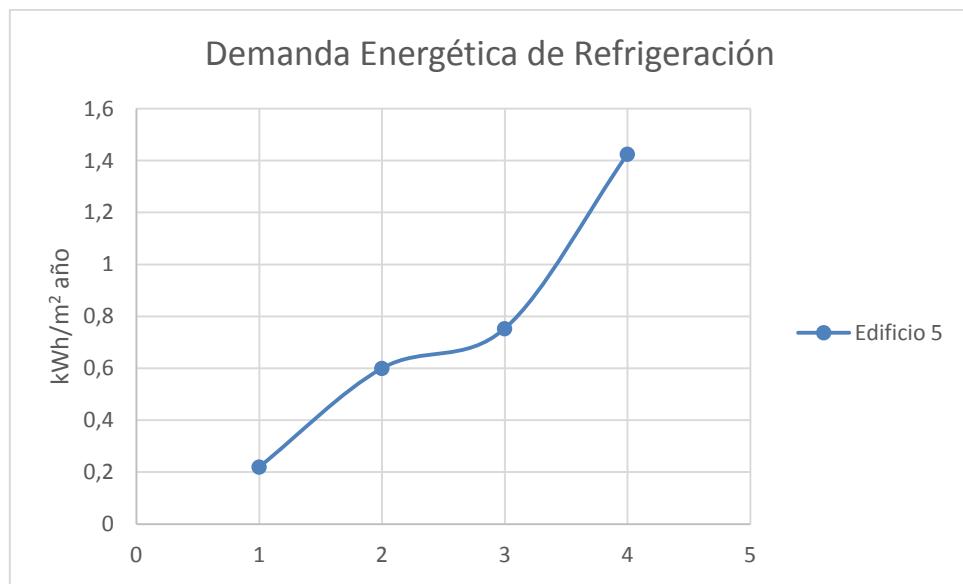
Gráfica A45: Carga térmica de refrigeración del edificio 5



Gráfica A46: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 5

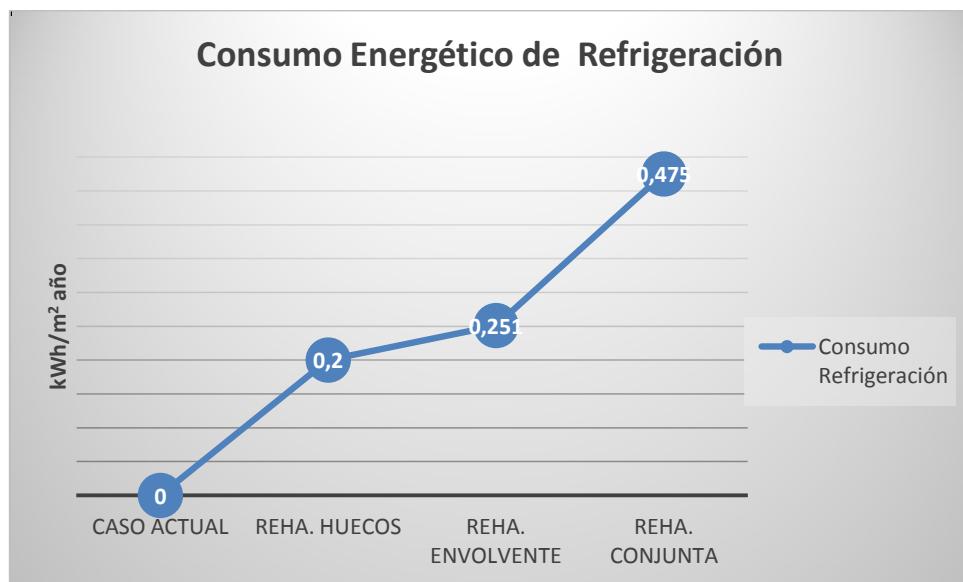
Los valores son superiores a los que se han obtenido hasta el momento con unos valores de la carga de refrigeración de 14,3 W/m<sup>2</sup>, 12,92 W/m<sup>2</sup>, 10,58 W/m<sup>2</sup> y 10,56 W/m<sup>2</sup>. En este caso y a diferencia del resto de los edificios la disminución de la carga térmica de refrigeración es mayor en el caso final, pudiéndose deber a una variación en los parámetros de cálculo del programa.

**Demanda energética de Refrigeración:**



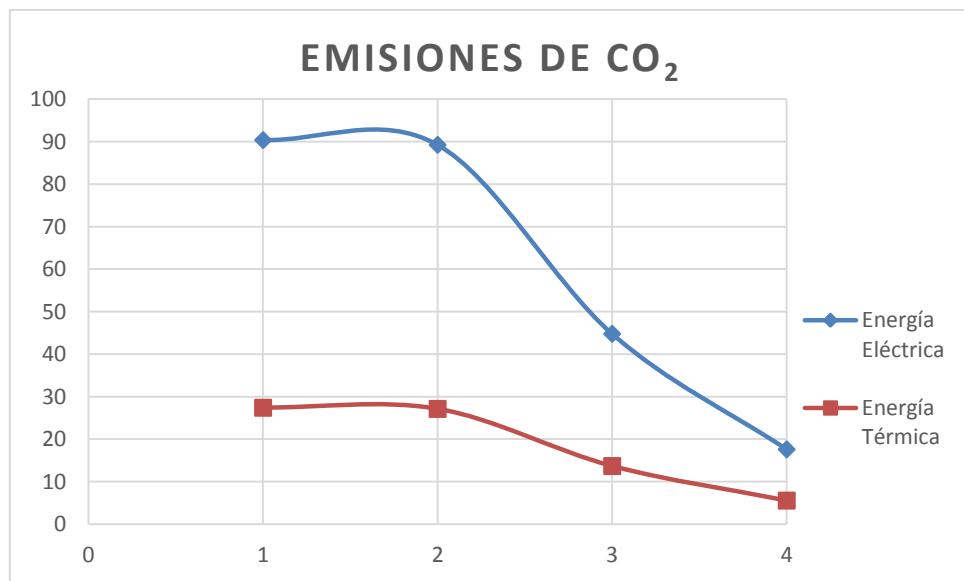
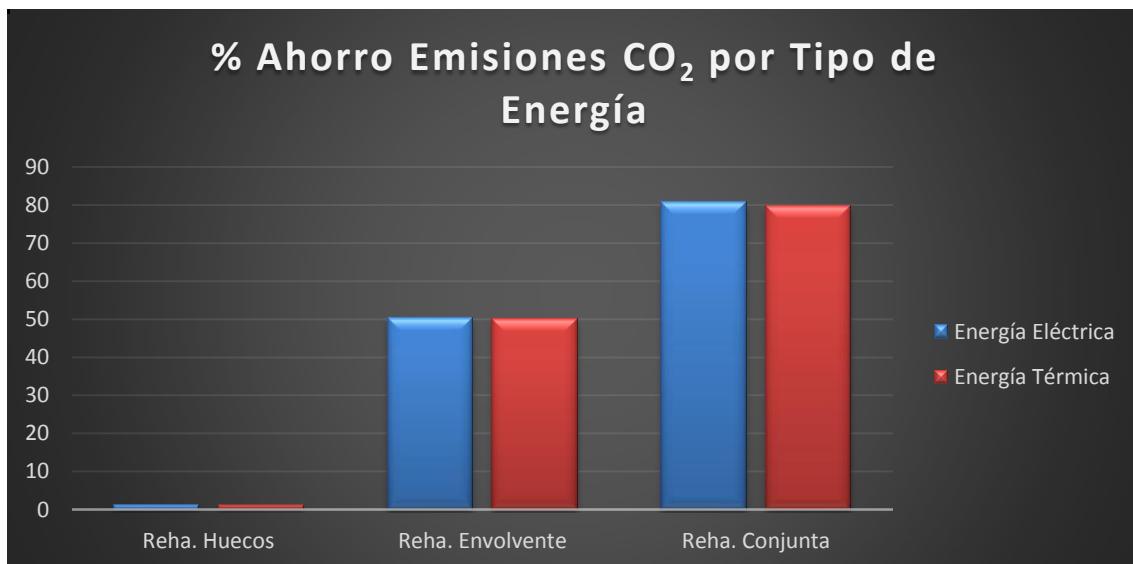
Gráfica A47: Demanda energética de refrigeración del edificio 5

**Consumo energético de Refrigeración:**



Gráfica A48: Consumo energético de refrigeración del edificio 5

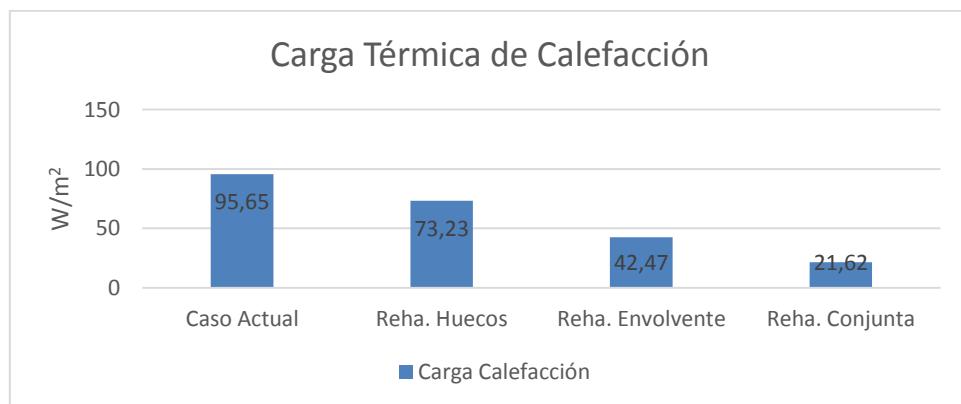
Los valores son superiores al resto de los edificios que se han tratado hasta ahora alcanzando un valor máximo de 0,475 kWh/m<sup>2</sup> año como se puede ver en la gráfica superior.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**Gráfica A49: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 5 por tipo de energía utilizadaGráfica A50: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 5 por tipo de energía utilizada

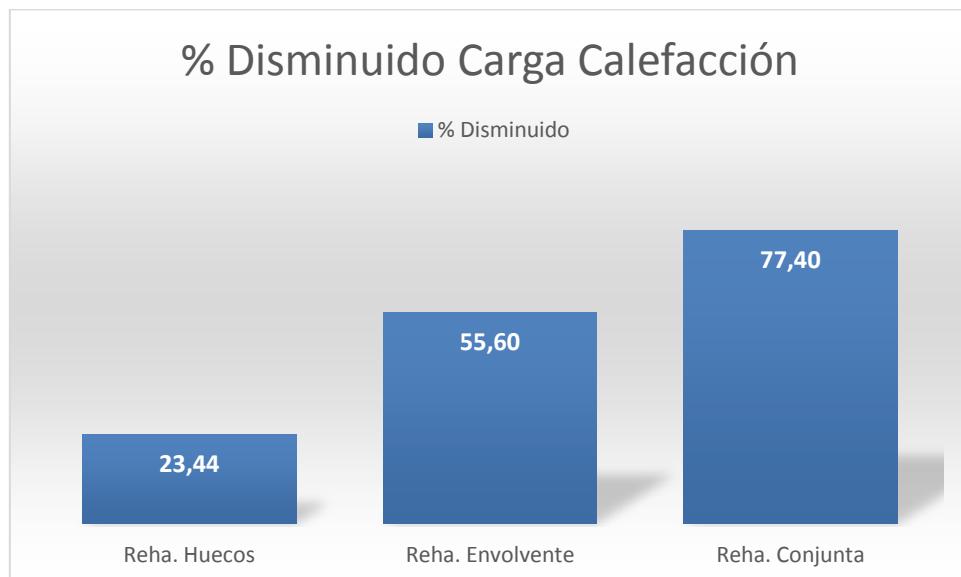
Los valores son similares al resto de los edificios tanto para las emisiones liberadas mediante la utilización de la energía eléctrica como usando la energía térmica procedente de la combustión del gas natural. Los valores obtenidos para la situación 2 y 3 son 89,286 t CO<sub>2</sub>/año, 44,8 t CO<sub>2</sub>/año usando energía eléctrica; en el caso de utilizar energía térmica son 27,13 t CO<sub>2</sub>/año y 13,68 t CO<sub>2</sub>/año respectivamente.

**Edificio 6:**

***Carga de Calefacción:***



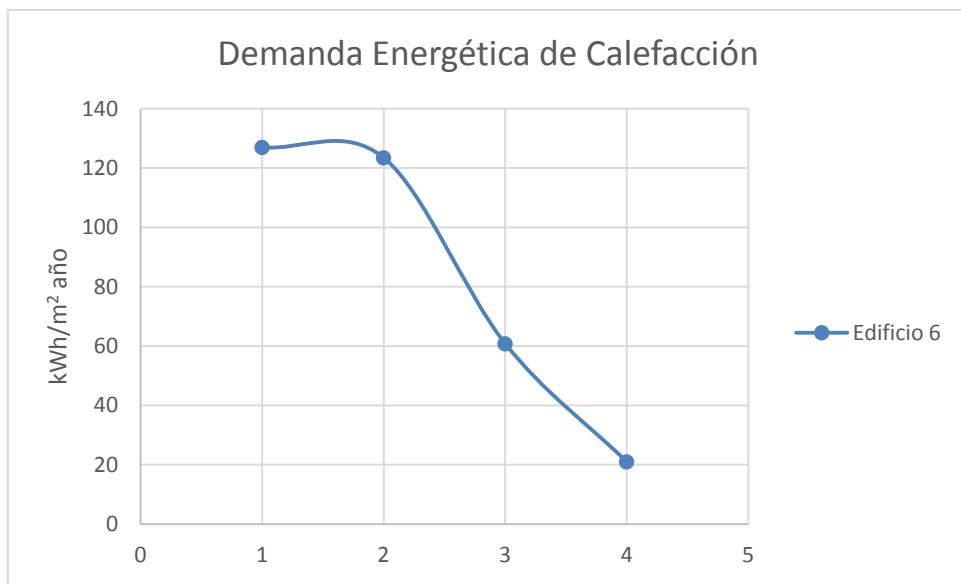
Gráfica A51: Carga térmica de calefacción para el edificio 6



Gráfica A52: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción del edificio 6

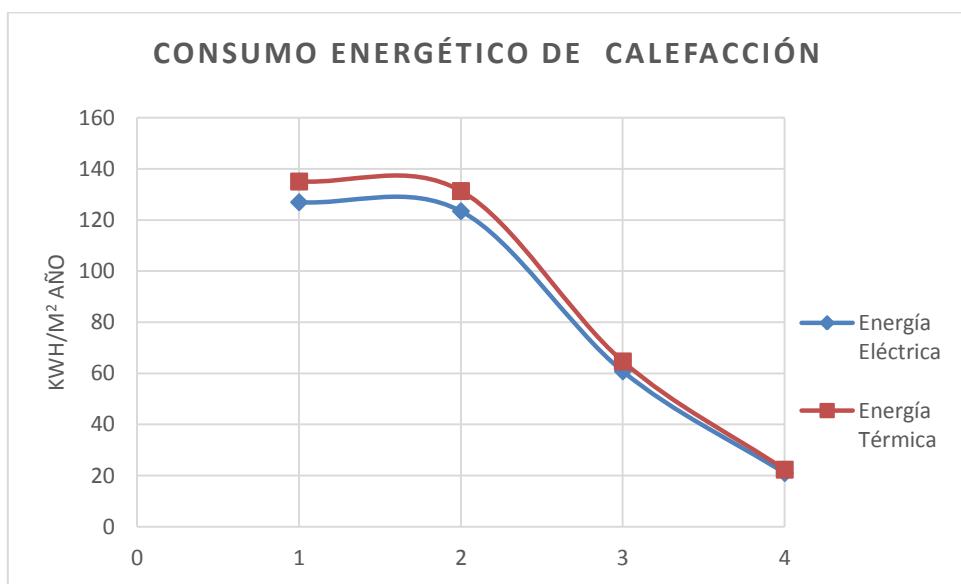
En este caso la carga térmica de calefacción es inferior en cada una de las tres situaciones con respecto al anterior edificio que posee la misma tipología de bloque. En este caso y como muestra el gráfico anterior los resultados obtenidos han sido de 95,65 W/m<sup>2</sup>, 73,23 W/m<sup>2</sup>, 42,47 W/m<sup>2</sup> y 21,62 W/m<sup>2</sup>.

**Demanda energética de Calefacción:**



Gráfica A53: Demanda energética de calefacción del edificio 6

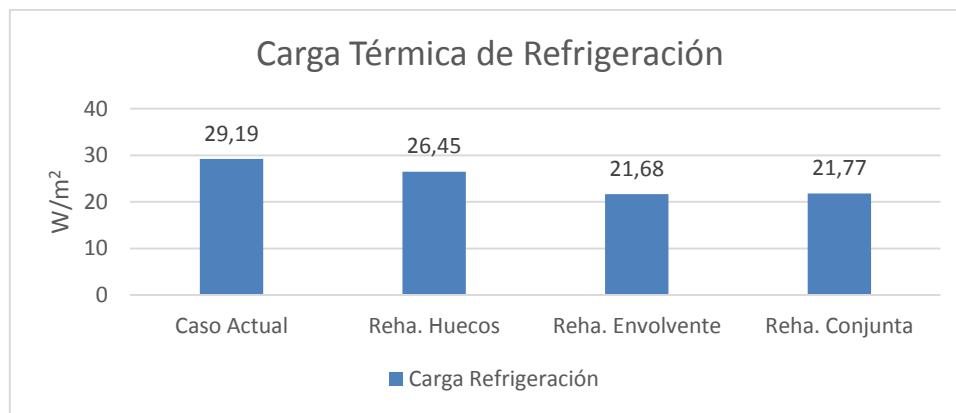
**Consumo energético de Calefacción:**



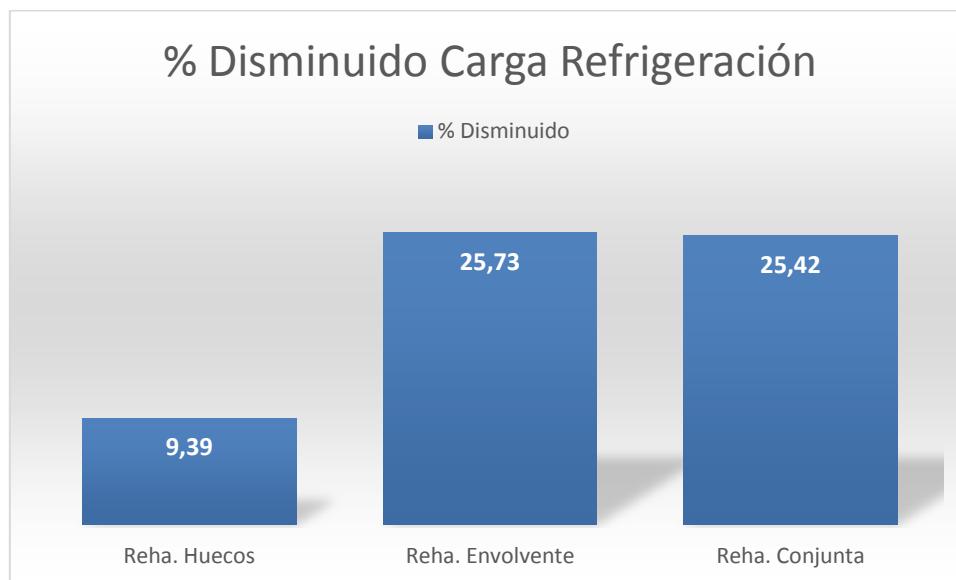
Gráfica A54: Consumo energético de calefacción del edificio 6 por energía utilizada

Los valores de ahorro que se producen en el consumo energético de calefacción son de 2,76% para la modificación de los huecos, 52,12% si se realiza únicamente la modificación de la envolvente y ahorro máximo del 83,47% si se realizan las dos conjuntamente. Los datos de consumo energético son similares a los de su homónimo.

**Carga de Refrigeración:**



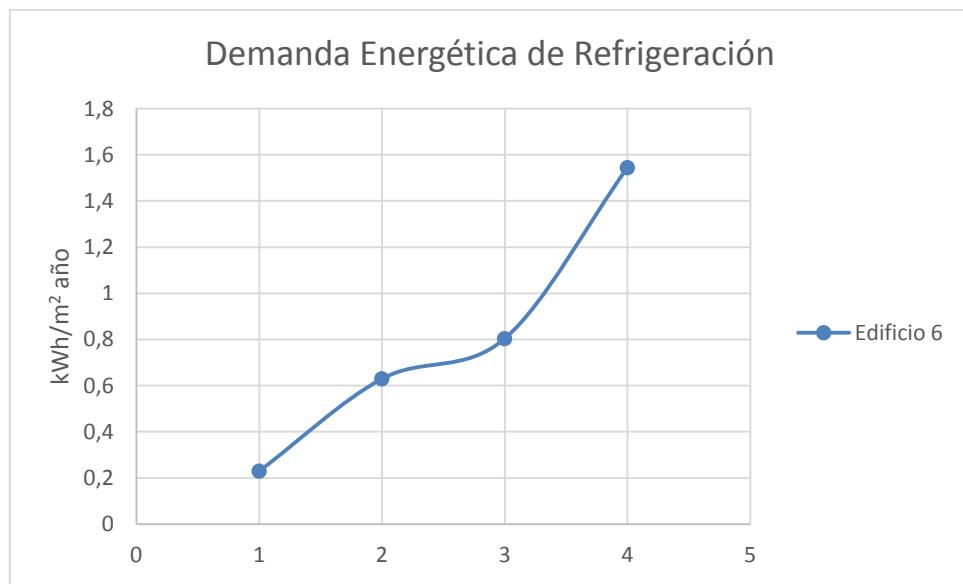
Gráfica A55: Carga térmica de refrigeración del edificio 6



Gráfica A56: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del edificio 6

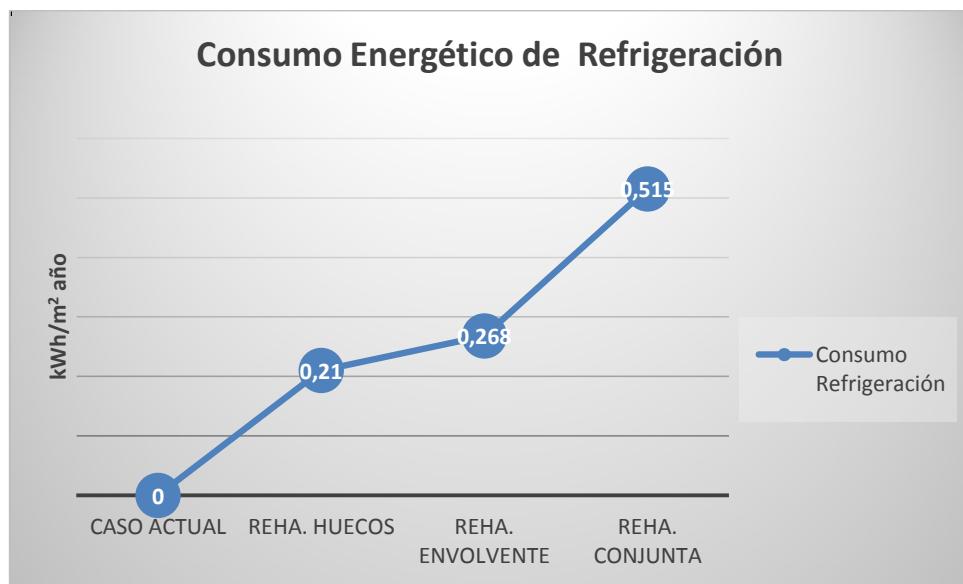
Son los resultados más elevados en carga térmica de refrigeración que se han obtenido hasta el momento, muy por encima del resto. Sin embargo, los porcentajes de disminución de la misma son prácticamente idénticos a los que se obtuvieron con anterioridad para el edificio de la misma tipología.

**Demanda energética de Refrigeración:**



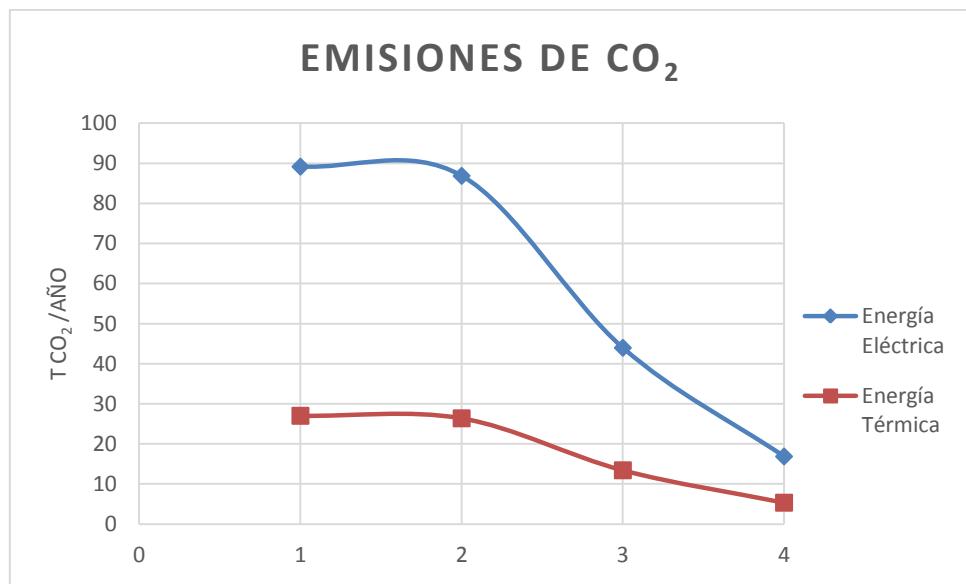
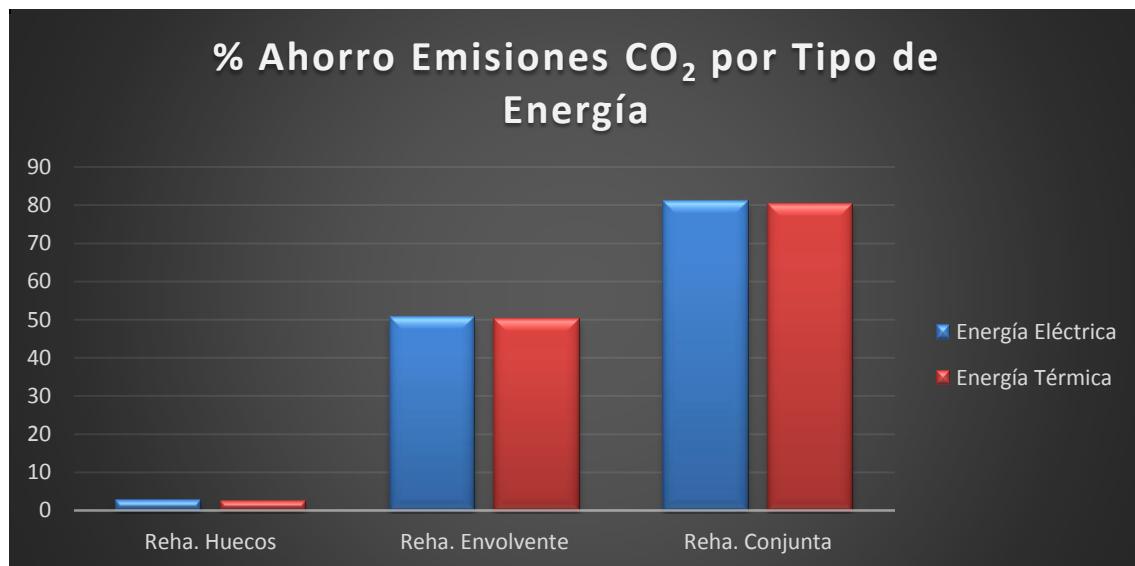
Gráfica A57: Demanda energética de refrigeración del edificio 6

**Consumo energético de Refrigeración:**



Gráfica A58: Consumo energético de refrigeración del edificio 6

Los valores son superiores al resto de los edificios que se han tratado hasta ahora, incluso rebasando al edificio 5.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**Gráfica A59: Emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 6 por tipo de energía utilizadaGráfica A60: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> del edificio 6 por tipo de energía utilizada

Los valores obtenidos para los escenarios 1, 2, 3 y 4 y para cada uno de los tipos de energía utilizada, eléctrica o térmica, son los siguientes:

- Energía eléctrica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emissions de CO <sub>2</sub> (Ton/año)	89,19	86,89	43,99	16,9

Tabla A1: Resultados obtenidos para el edificio 6 en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica

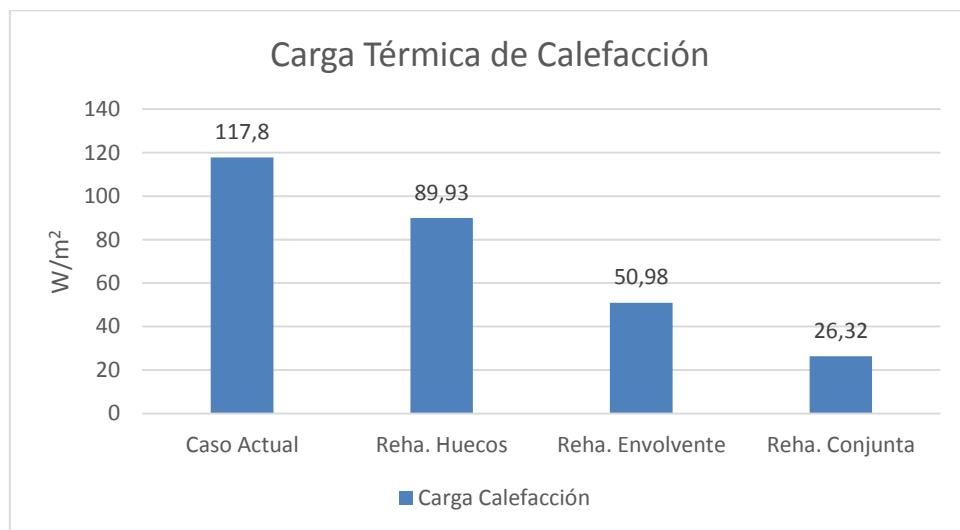
- Energía térmica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emisiones de CO <sub>2</sub> (Ton/año)	27,05	26,41	13,45	5,36

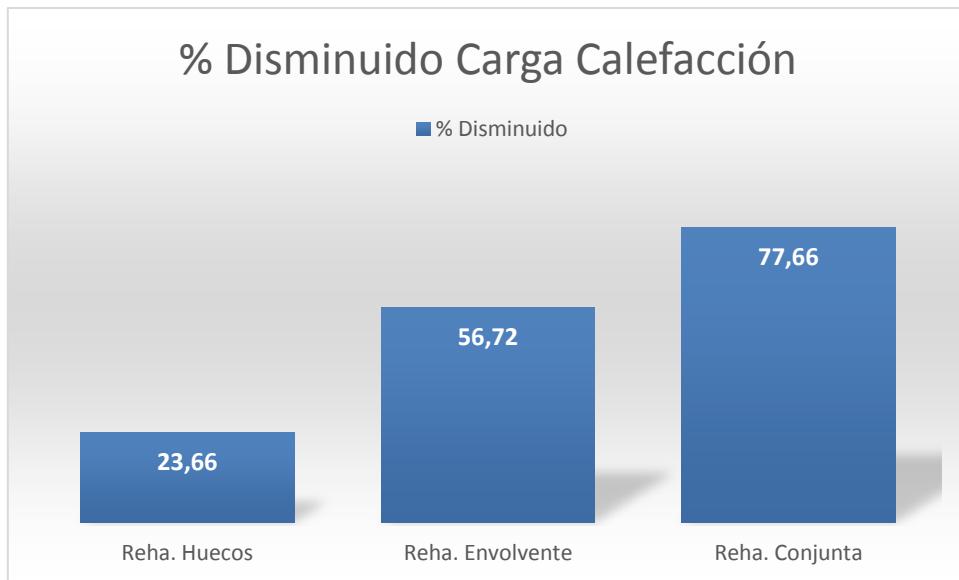
Tabla A2: Resultados obtenidos para el edificio 6 en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía térmica

**Torre 1:**

**Carga de Calefacción:**



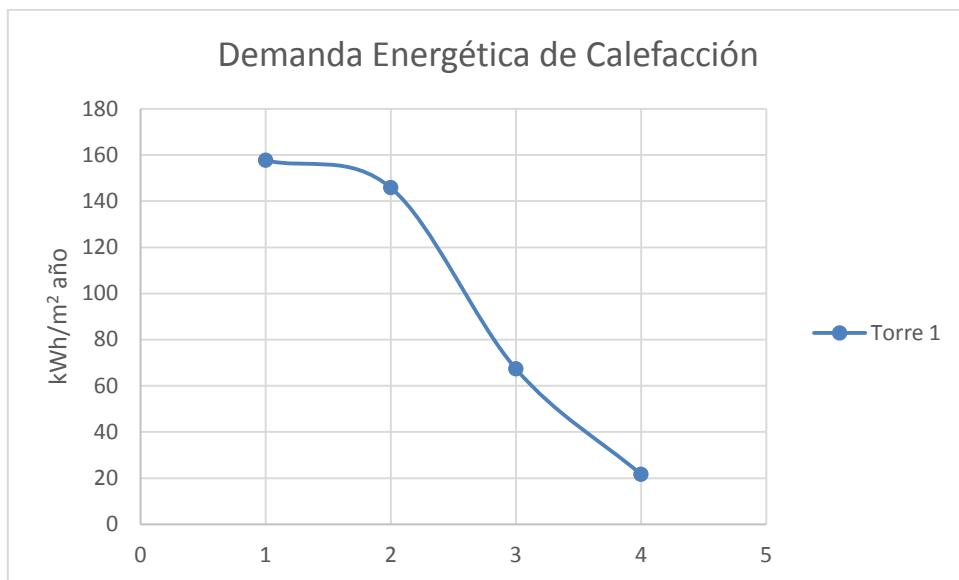
Gráfica A61: Carga térmica de calefacción para la torre 1 (edificio 7)



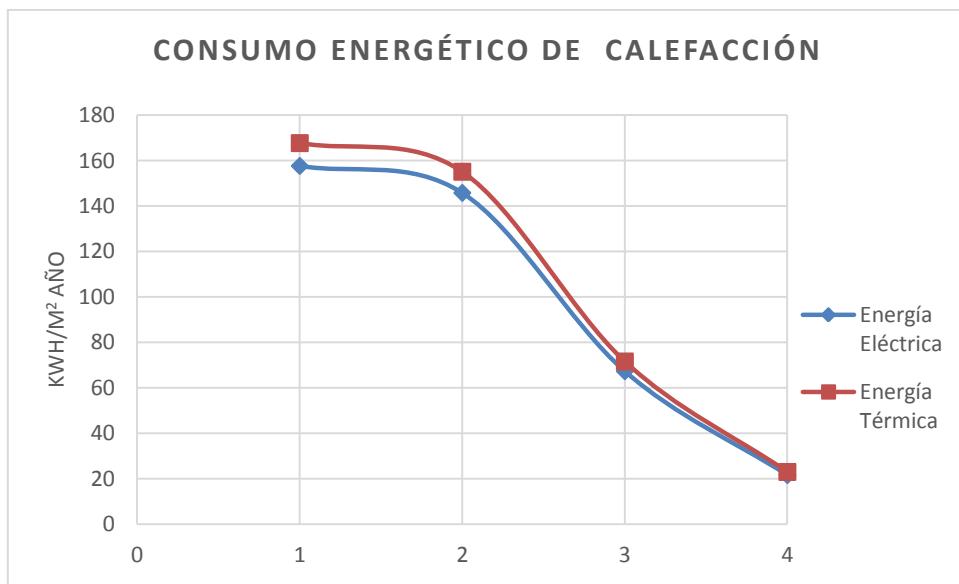
Gráfica A62: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción de la torre 1 (edificio 7)

Como en el resto de edificios los porcentajes de disminución son casi iguales, pero en este caso los valores de la propia carga térmica de calefacción son con creces superiores a los casos anteriores.

#### **Demanda energética de Calefacción:**



Gráfica A63: Demanda energética de calefacción de la torre 1 (edificio 7)

**Consumo energético de Calefacción:**

Gráfica A64: Consumo energético de calefacción de la torre 1 (edificio 7) por energía utilizada

Los valores exactos que se han obtenido son los siguientes:

- Energía Eléctrica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envoltorio	Reha. Conjunta
Consumo energético Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	157,71	145,85	67,33	21,62

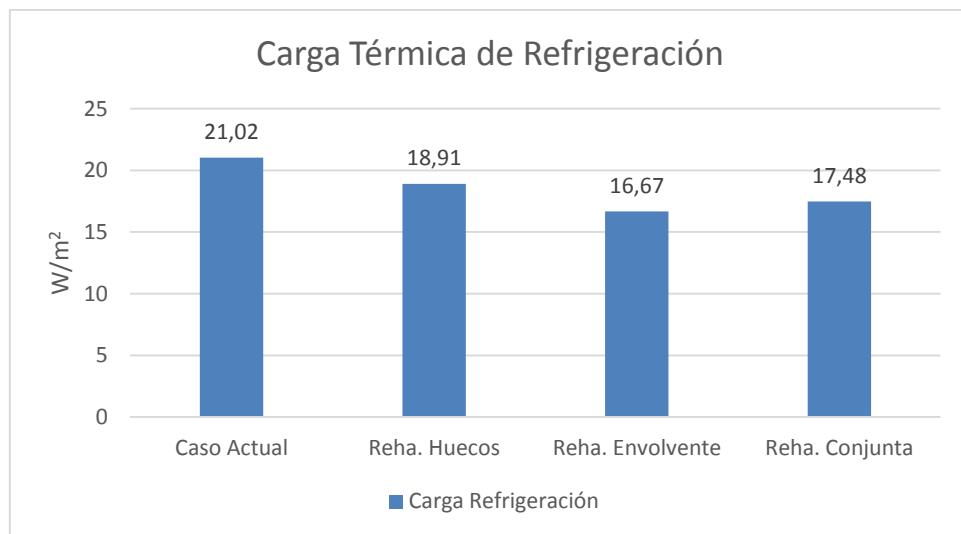
Tabla A3: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica

- Energía térmica:

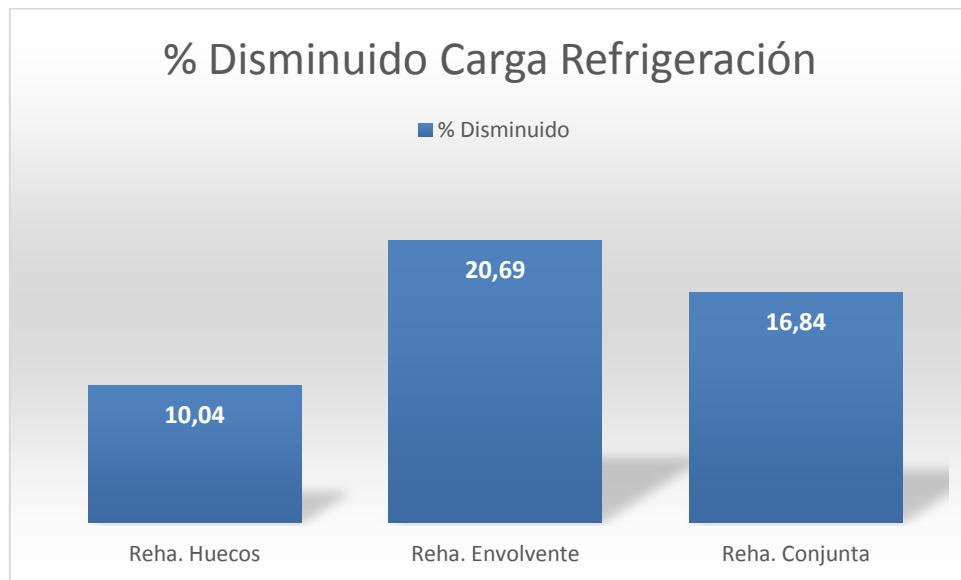
	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envoltorio	Reha. Conjunta
Consumo energético Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	167,77	155,16	71,63	22,99

Tabla A4: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de consumo energético de calefacción para energía térmica

**Carga de Refrigeración:**

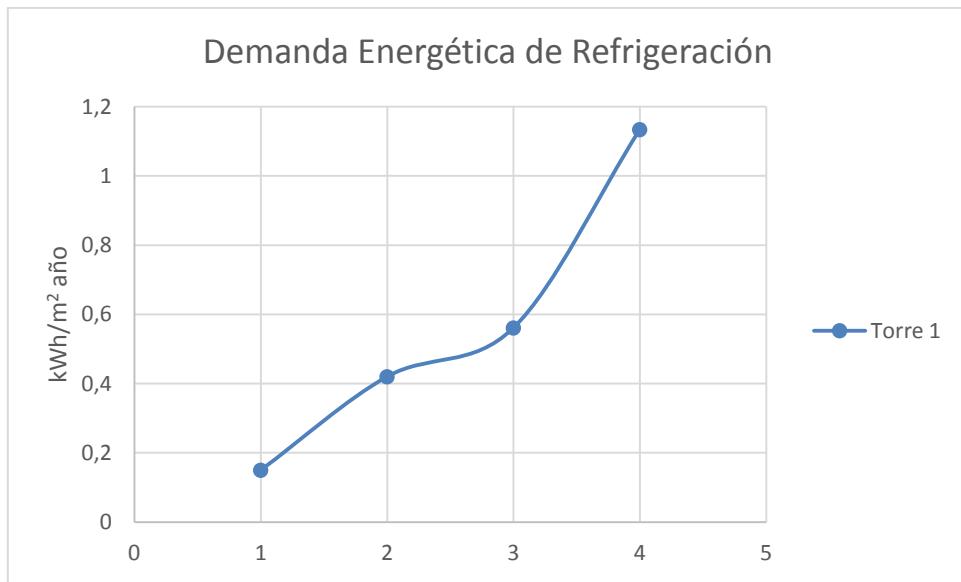


Gráfica A65: Carga térmica de refrigeración de la torre 1 (edificio 7)

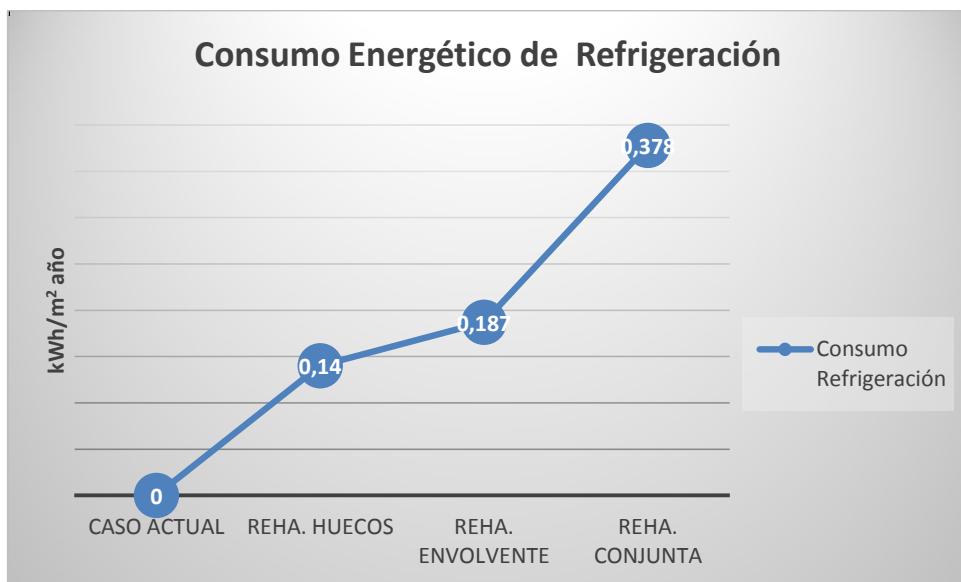


Gráfica A66: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración de la torre 1 (edificio 7)

Los valores en este caso son superiores a todos los edificios que se han tratado con anterioridad excepto en el caso del edificio 6. Los resultados aparecen indicados en cada uno de los gráficos insertados sobre el párrafo.

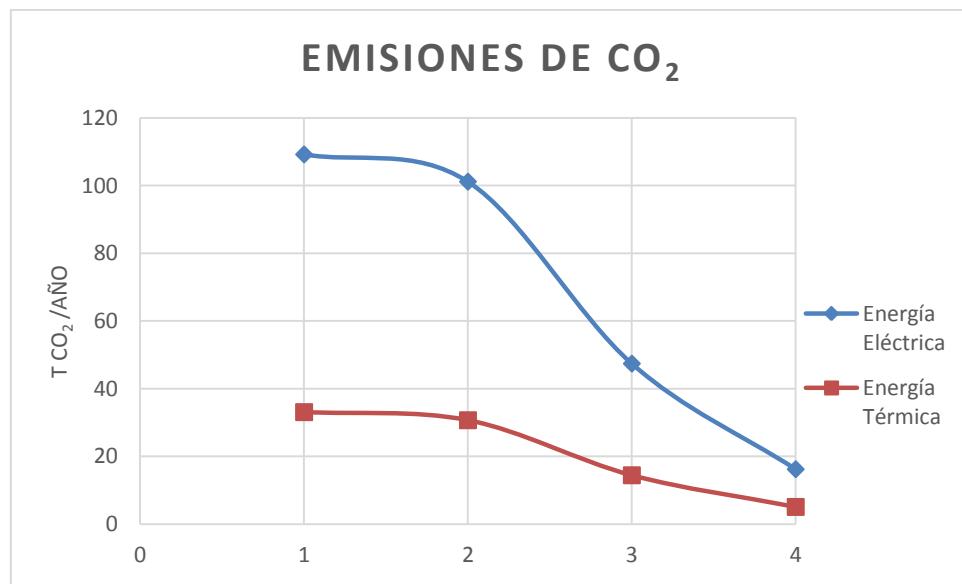
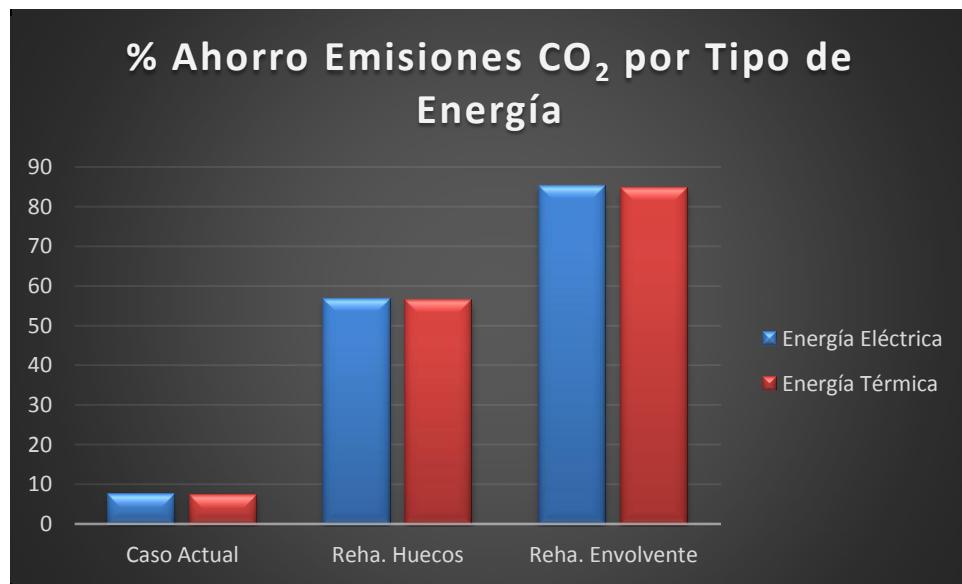
**Demanda energética de Refrigeración:**

Gráfica A67: Demanda energética de refrigeración de la torre 1 (edificio 7)

**Consumo energético de Refrigeración:**

Gráfica A68: Consumo energético de refrigeración de la torre 1 (edificio 7)

A lo largo de las diferentes situaciones el consumo energético va aumentando al igual que todos los casos. Como ya se dijo esto se debe a que al poseer un mayor aislamiento, la energía perdida a través de la envoltura es menor por lo que el consumo energético en refrigeración es superior. También la altura de la torre le permite obtener mayores ganancias solares por lo que todavía aumenta más esa energía interna adquirida por la vivienda, aumentando así el consumo energético en refrigeración.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**Gráfica A69: Emisiones de CO<sub>2</sub> de la torre 1 (edificio 7) por tipo de energía utilizadaGráfica A70: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la torre 1 (edificio 7) por tipo de energía utilizada

Los valores son superiores como en el resto de gráficas en comparación con el resto de edificios. El hecho de que el consumo energético en calefacción, para este edificio, rebase con creces los obtenidos en el resto de edificios deriva en un aumento de las emisiones de CO<sub>2</sub> liberadas a la atmósfera. Los resultados obtenidos para cada una de las situaciones y tipo de energía utilizada son las siguientes:

- Energía eléctrica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emisiones de CO <sub>2</sub> (Ton/año)	109,24	101,19	47,433	16,248

**Tabla A5: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica**

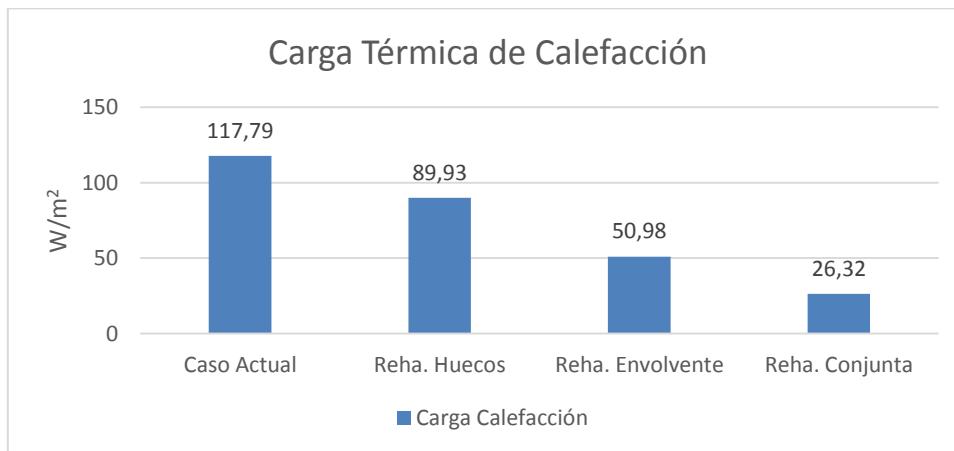
- Energía térmica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emisiones de CO <sub>2</sub> (Ton/año)	33,109	30,711	14,454	5,101

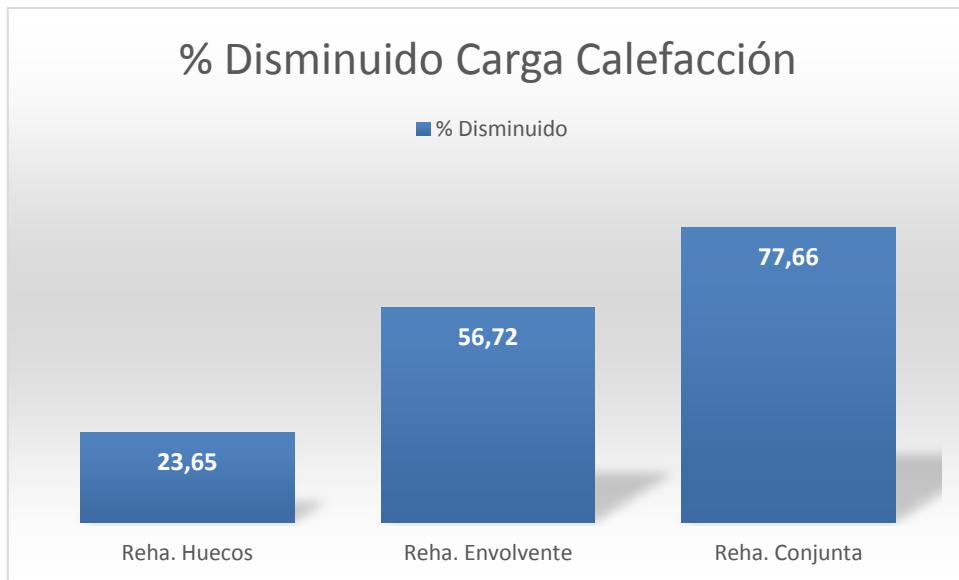
**Tabla A6: Resultados obtenidos para la torre 1 (edificio 7) en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía térmica**

## **Torre 2:**

### ***Carga de Calefacción:***



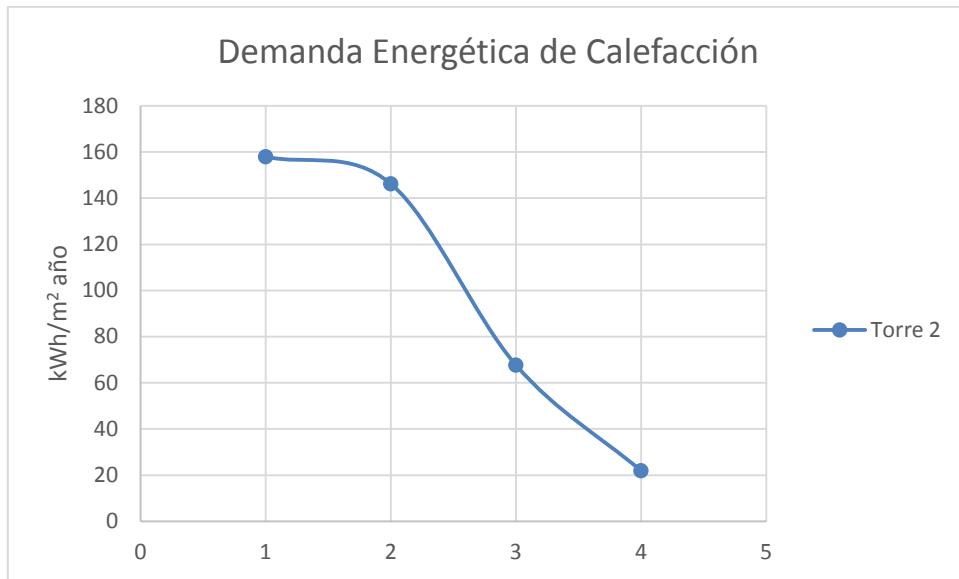
**Gráfica A71: Carga térmica de calefacción para la torre 2 (edificio 8)**



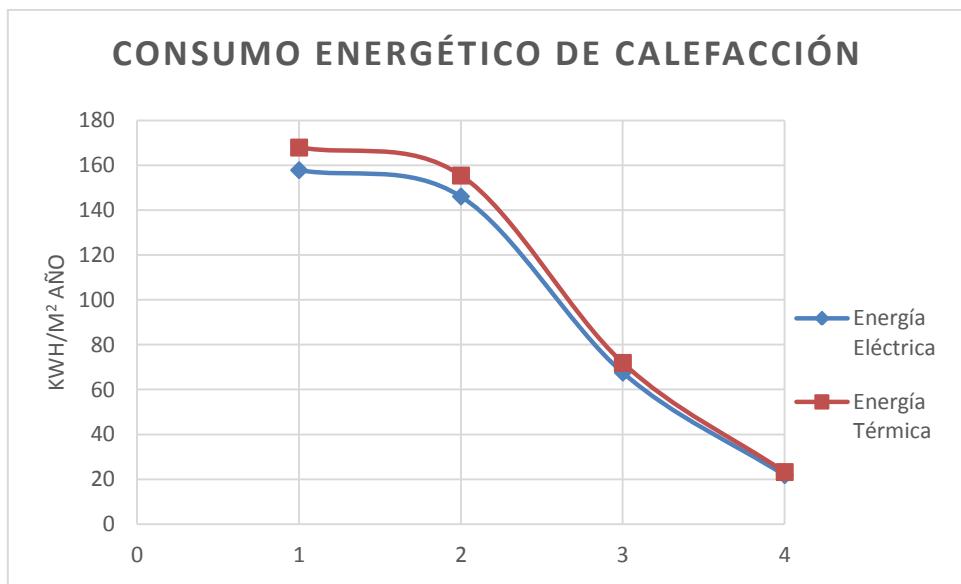
Gráfica A72: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción de la torre 2 (edificio 8)

Los valores coinciden exactamente con los que se han mostrado para la primera de las torres presentadas. Como ya se ha comentado las características estructurales de los edificios son iguales por lo que la coincidencia en los resultados para ambos edificios es normal.

**Demanda energética de Calefacción:**



Gráfica A73: Demanda energética de calefacción de la torre 2 (edificio 8)

**Consumo energético de Calefacción:****Gráfica A74: Consumo energético de calefacción de la torre 2 (edificio 8) por energía utilizada**

Los valores obtenidos para el caso de la “Torre 2” son ligeramente superiores a las de su homónima, siendo los que se muestran a continuación para cada una de los escenarios y tipo de energía:

- Energía Eléctrica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Consumo energético Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	157,92	146,18	67,62	21,86

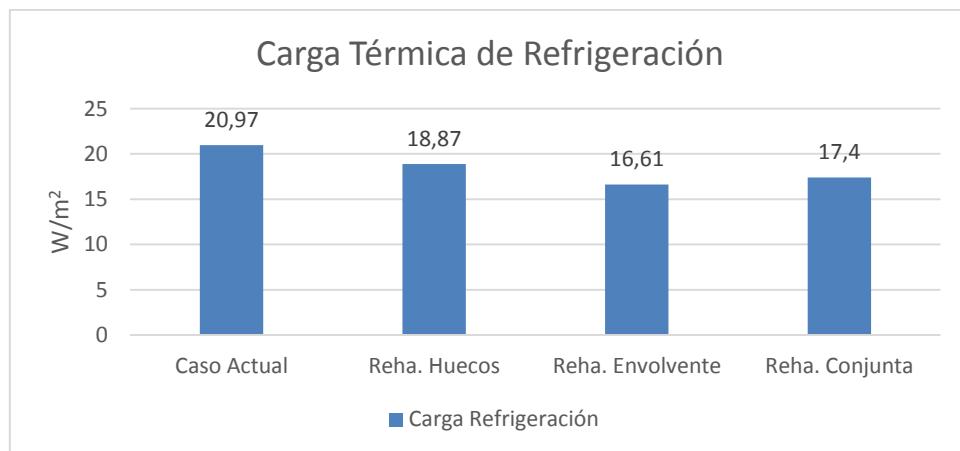
**Tabla A7: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica**

- Energía térmica:

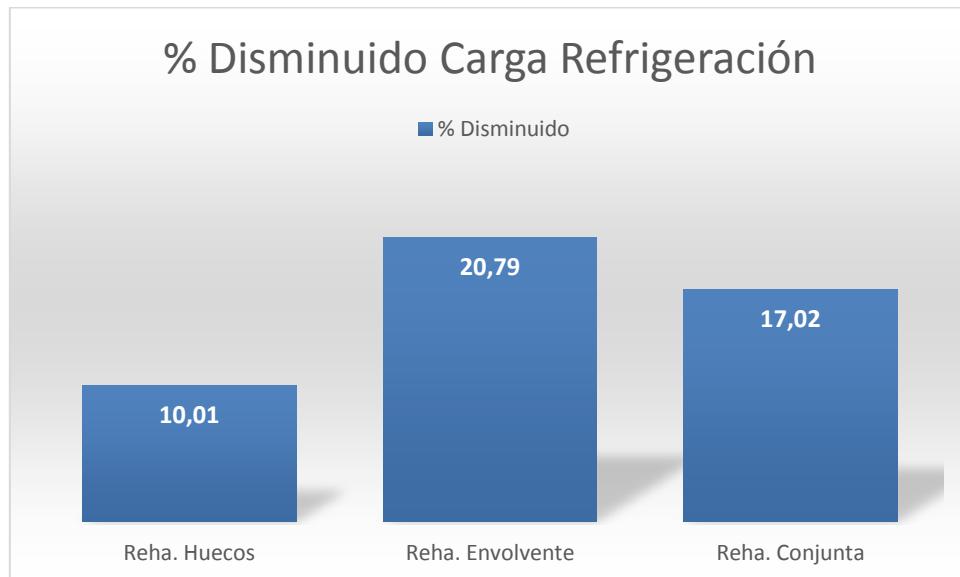
	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Consumo energético Calefacción (kWh/m <sup>2</sup> año)	167,77	155,16	71,63	22,99

**Tabla A8: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de consumo energético de calefacción para energía eléctrica**

**Carga de Refrigeración:**



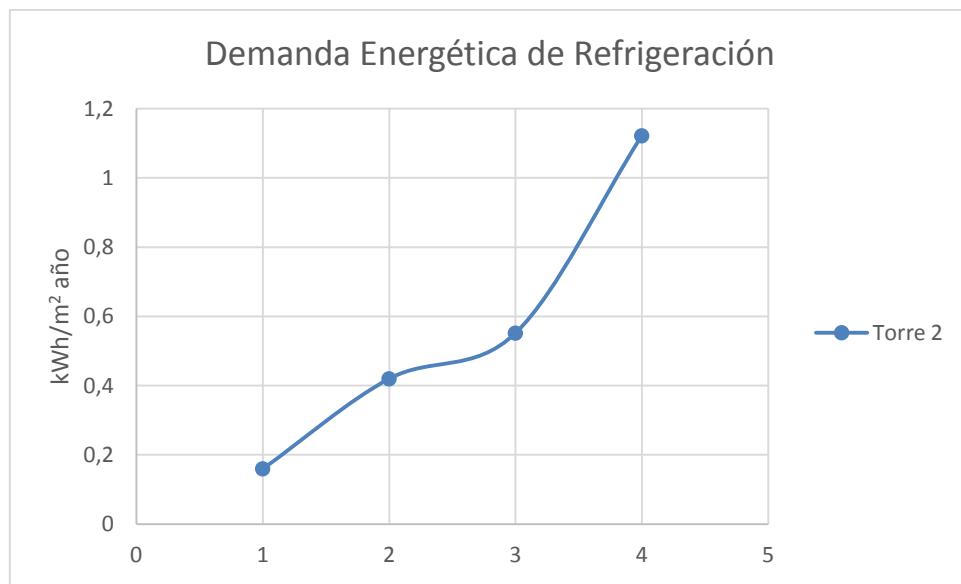
Gráfica A75: Carga térmica de refrigeración de la torre 2 (edificio 8)



Gráfica A76: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración de la torre 2 (edificio 8)

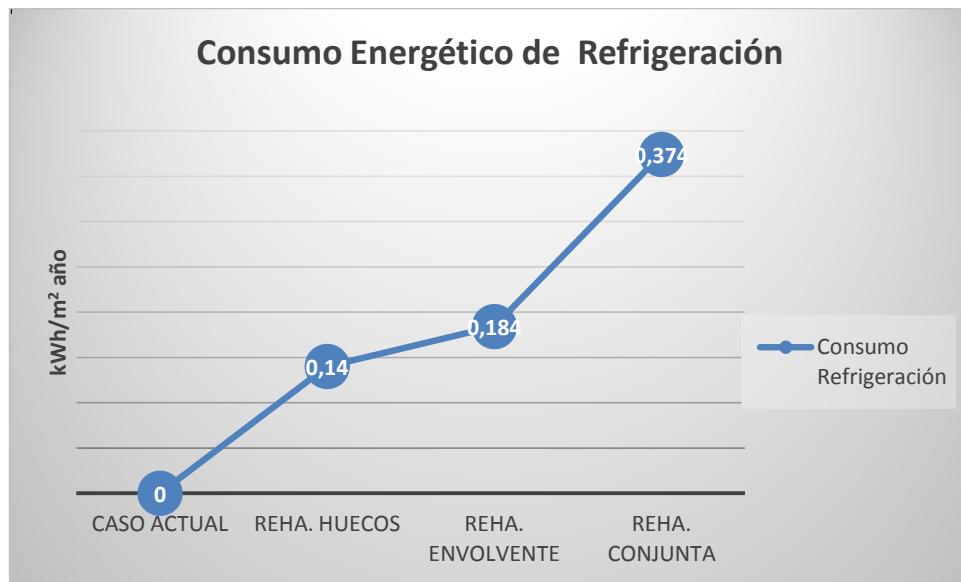
Son similares a los obtenidos por la primera de las torres presentadas, aunque ligeramente superiores los de esta segunda torre.

**Demanda energética de Refrigeración:**



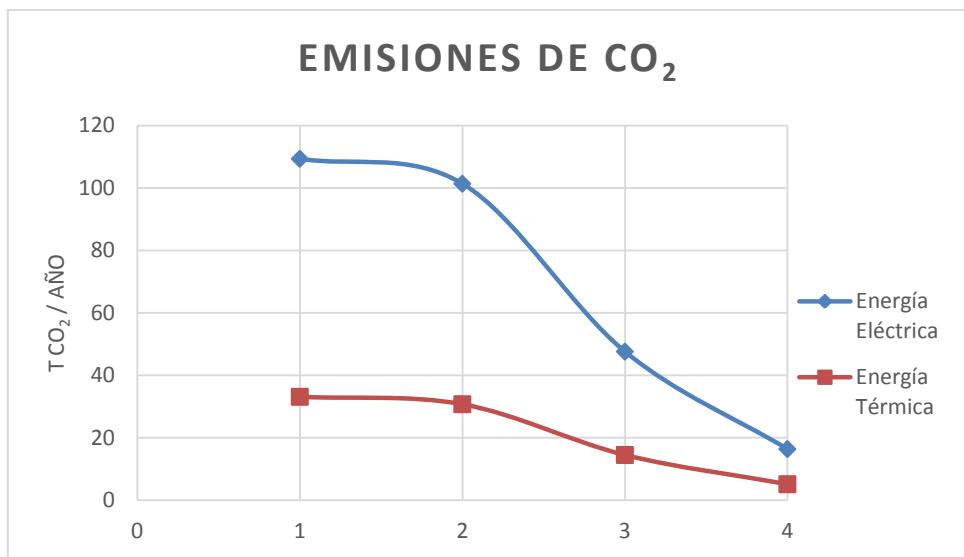
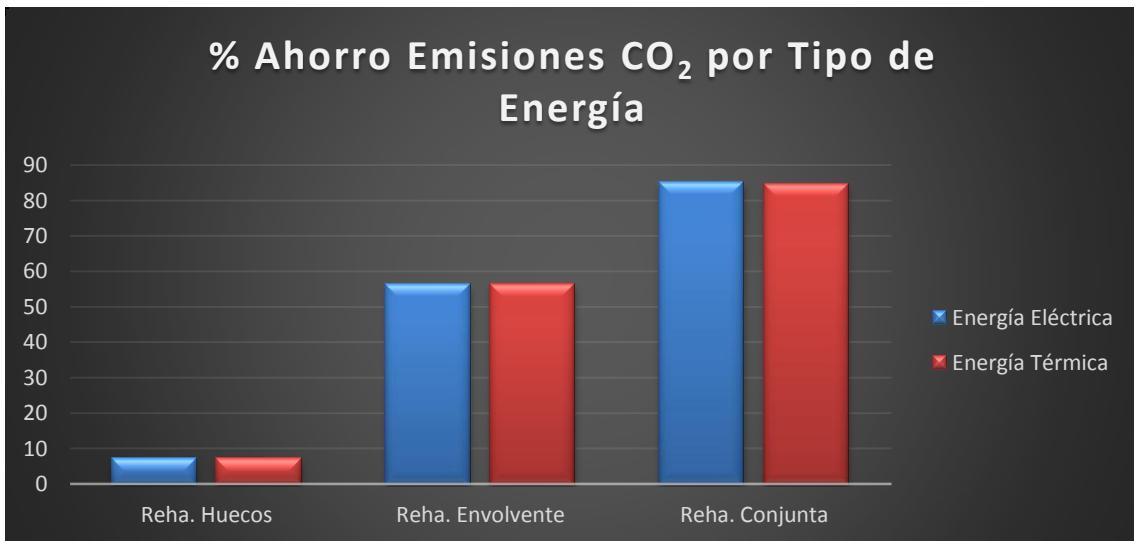
Gráfica A77: Demanda energética de refrigeración de la torre 2 (edificio 8)

**Consumo energético de Refrigeración:**



Gráfica A78: Consumo energético de refrigeración de la torre 2 (edificio 8)

Siguiendo la evolución mostrada a lo largo de todos los edificios el mayor consumo energético de refrigeración se da para el último escenario. En cuanto a la comparación con la otra torre los resultados son iguales salvo en la última cifra, por lo tanto las diferencias entre los consumo energéticos en cada torre son insignificantes.

**Emisión de CO<sub>2</sub>:**Gráfica A79: Emisiones de CO<sub>2</sub> de la torre 2 (edificio 8) por tipo de energía utilizadaGráfica A80: Porcentaje de ahorro de las emisiones de CO<sub>2</sub> de la torre 2 (edificio 8) por tipo de energía utilizada

En consonancia con los resultados obtenidos en la “Torre 1” los valores para cada una de las situaciones y tipo de energía utilizada son las siguientes:

- Energía eléctrica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emisiones de CO <sub>2</sub> (Ton/año)	109,39	101,41	47,63	16,41

Tabla A9: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio8) en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía eléctrica

- Energía térmica:

	Caso Actual	Reha. Huecos	Reha. Envolvente	Reha. Conjunta
Emisiones de CO2 (Ton/año)	33,15	30,79	14,51	5,15

**Tabla A10: Resultados obtenidos para la torre 2 (edificio 8) en términos de emisión de CO<sub>2</sub> asociados a la energía térmica**

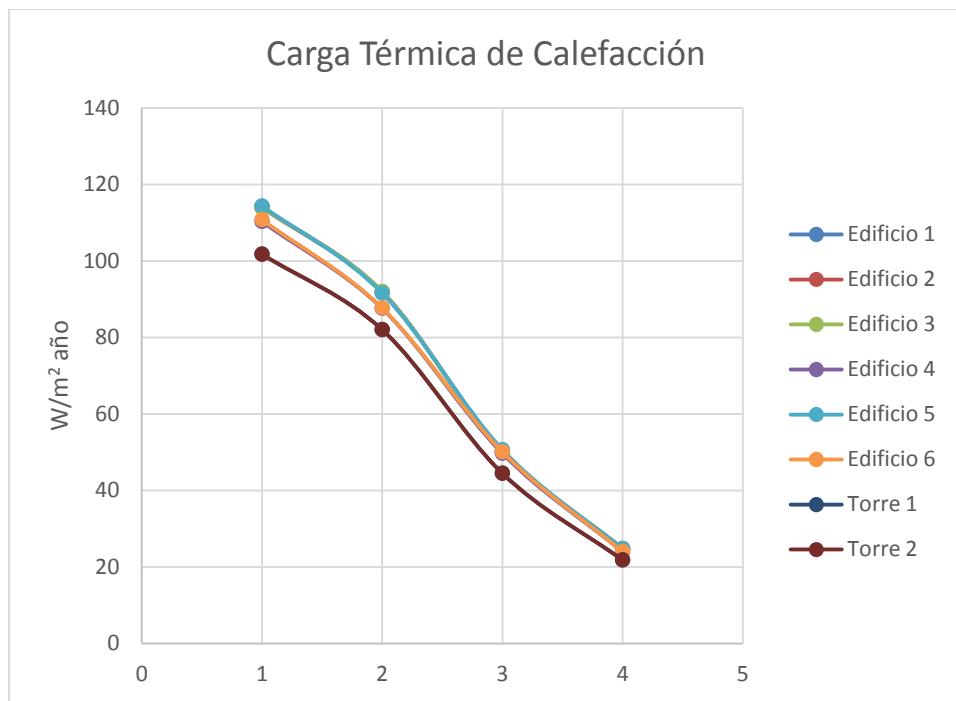
### Anexo III: Resultados de las simulaciones por planta

En el siguiente anexo se van a mostrar los datos obtenidos para cada las dos plantas que se han tenido en cuenta en el presente estudio. Recordar que para el caso de las tipologías “Bloque 1” y “Bloque 2” las plantas seleccionadas han sido la 3<sup>a</sup> y la 5<sup>a</sup>, mientras que para el caso de la tipología “Torre” las seleccionadas han sido 6<sup>a</sup> y 11<sup>a</sup>. En ambos casos se ha seleccionado la planta intermedia y la situada a más altura del edificio para que se vea la diferencia y el contraste que hay según la planta en la que se reside.

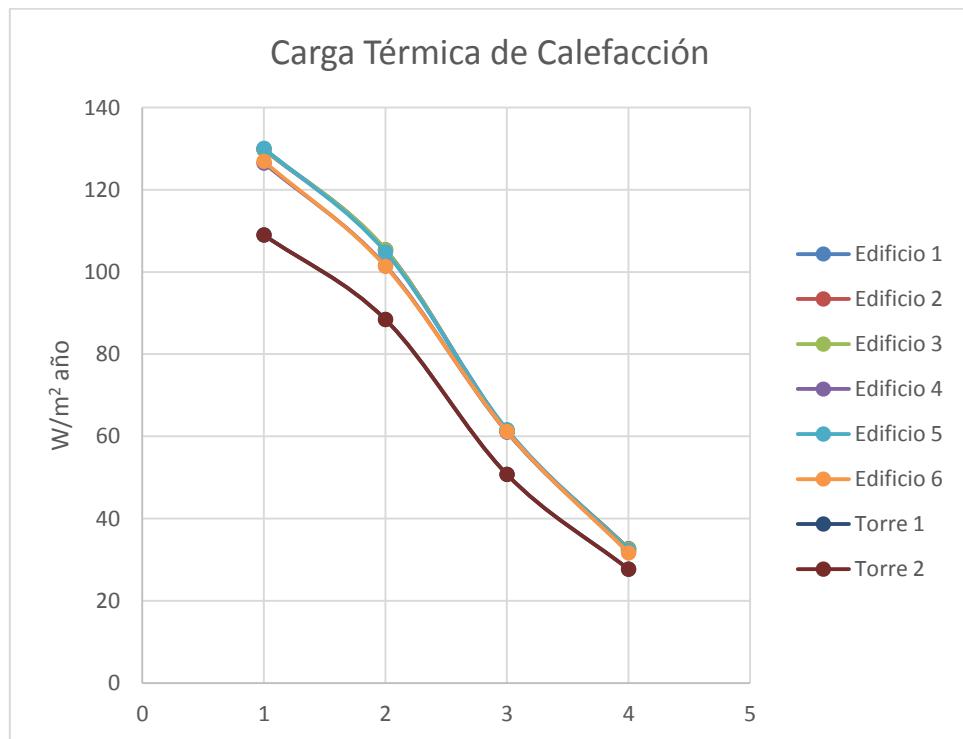
Como aclaración decir que los números 1, 2, 3 y 4 que aparecen en el eje de abscisas de las diferentes gráficas que muestran los diferentes valores de las cargas térmicas y de los consumos energéticos corresponden con el “Caso Actual”, “Rehabilitación de Huecos”, “Rehabilitación de la Envoltura” y “Rehabilitación Conjunta”.

#### Carga de Calefacción:

##### *Planta intermedia*



Gráfica A81: Carga térmica de calefacción por edificios para la planta intermedia de cada uno de ellos

**Planta última**

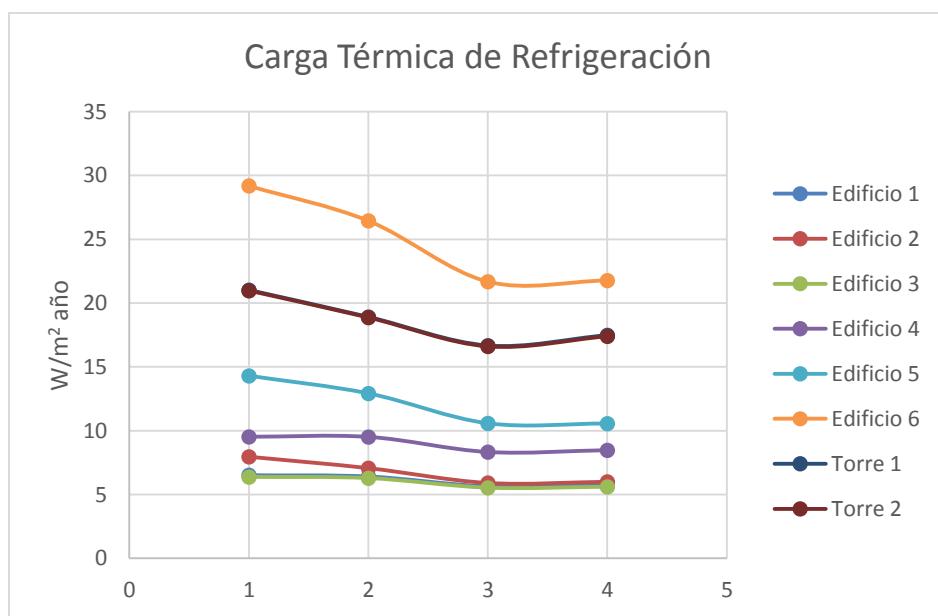
Gráfica A82: Carga térmica de calefacción por edificios para la última planta de cada uno de ellos

En el caso de ambas plantas y como ya se ha comentado en anteriores anexos y en la memoria, la tendencia es claramente descendente gracias a las diferentes actuaciones de rehabilitación valoradas.

La comparativa entre ambas muestra lo que se indica en el párrafo que abría este anexo, y es la diferencia que existe entre ambas plantas. Como era de esperar la demanda es superior en el caso de las plantas 5<sup>a</sup> y 11<sup>a</sup> frente a las que se dan para las plantas 3<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup>.

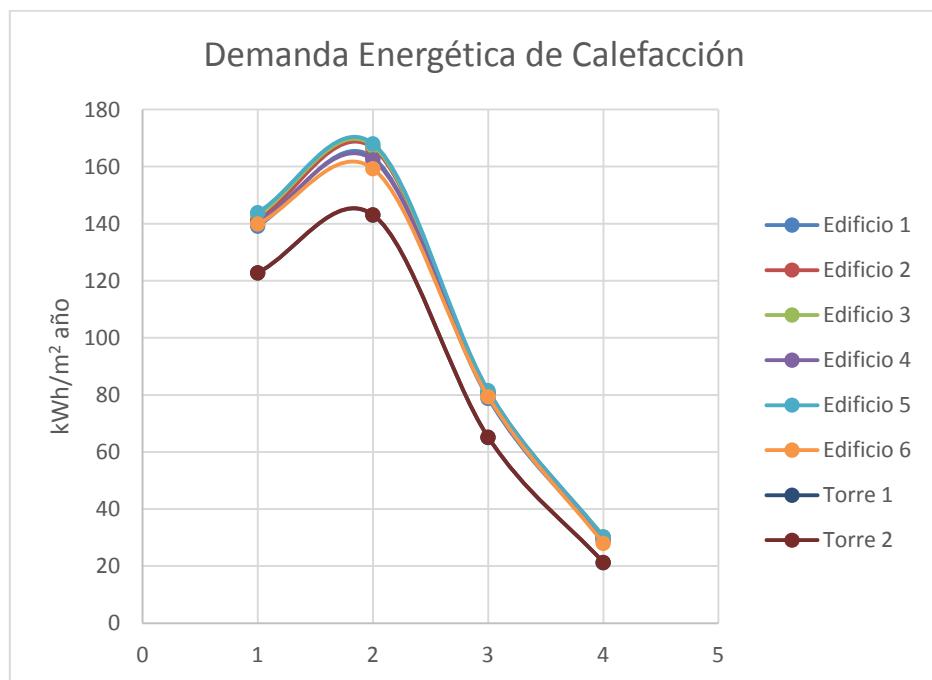
El porqué a estos resultados es sencillo, en el caso de las plantas intermedias (3<sup>a</sup> y 6<sup>a</sup>) tienen tanto por encima como por debajo otras plantas cuyas temperaturas son similares provocando que la  $\Delta t$  sea pequeña y derivando por tanto en una reducción de la carga térmica. Por el contrario en las últimas plantas de cada edificio (5<sup>a</sup> y 11<sup>a</sup>), temperatura es diferente al resto puesto que por encima de ellas se encuentra una cubierta (normalmente no condicionada), desembocando esto en una  $\Delta t$  superior y por lo tanto una mayor potencia que deben poseer los equipos.

El otro dato que llama la atención es la gran diferencia en la carga térmica entre la tipología "Torre" frente a las otras dos en la última planta de cada una de ellas. La explicación reside en la transmitancia térmica de los techos, para el caso de las tipologías de "Bloque 1" y "Bloque 2" poseen una cubierta inclinada no ocupada cuyo  $U = 4,73 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ , mientras que el valor de  $U$  del cerramiento de la planta 11 de la tipología torre es  $0,25 \text{ W/ m}^2 \text{ K}$ .

**Carga de Refrigeración:**

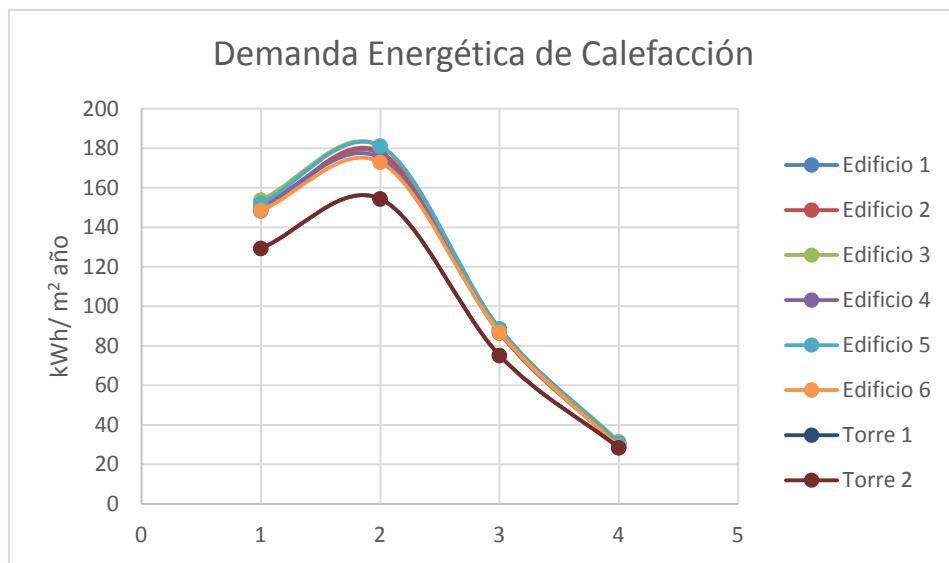
Gráfica A83: Carga térmica de refrigeración por edificios

Decir que el software proporciona los mismos datos en relación con las cargas térmicas de refrigeración de los diferentes edificios, por lo que la actual gráfica ha sido ya comentada en el apartado 4.3 de la memoria.

**Demandas y Consumos energéticos de Calefacción:****Demanda energética****Planta intermedia**

Gráfica A84: Demanda energética de calefacción por edificios para la planta intermedia de cada uno de ellos

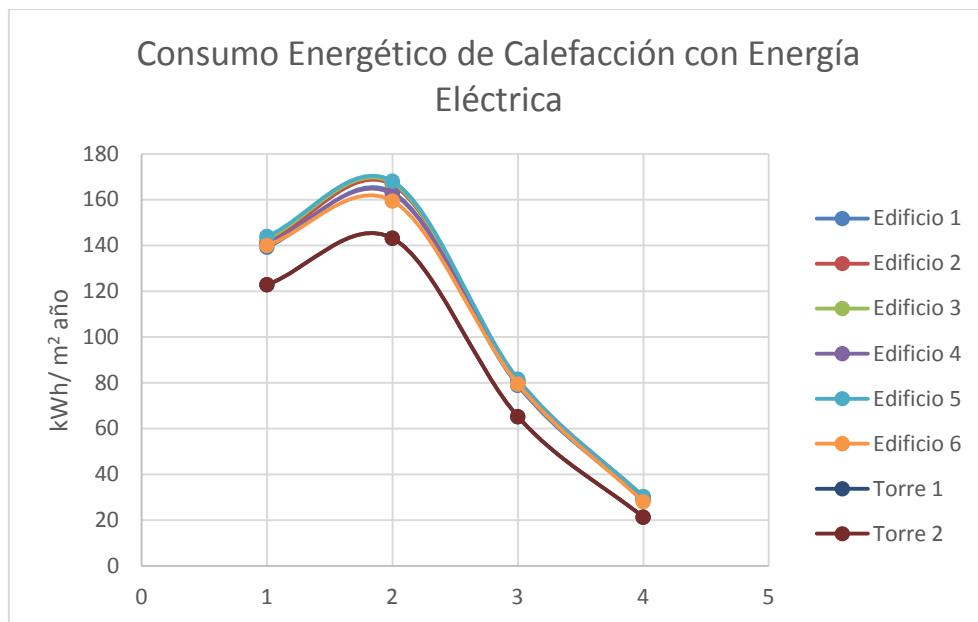
**Planta última**



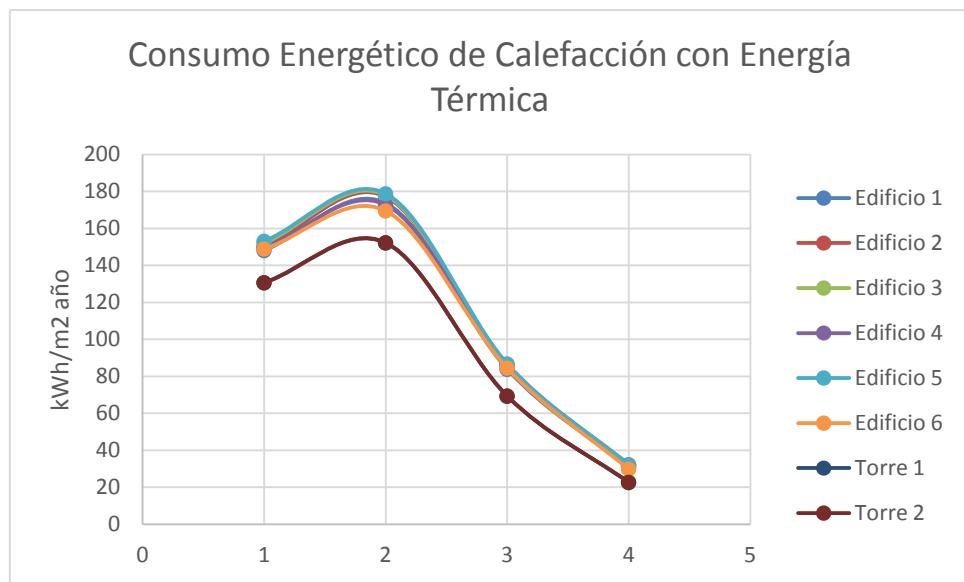
Gráfica A85: Demanda energética de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos

**Consumo energético**

**Planta intermedia**

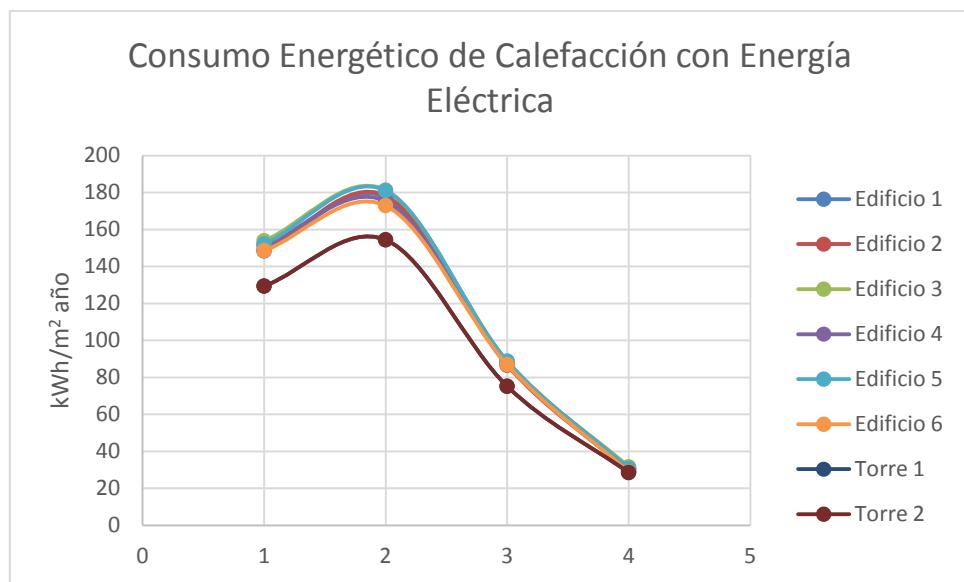


Gráfica A86: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía eléctrica

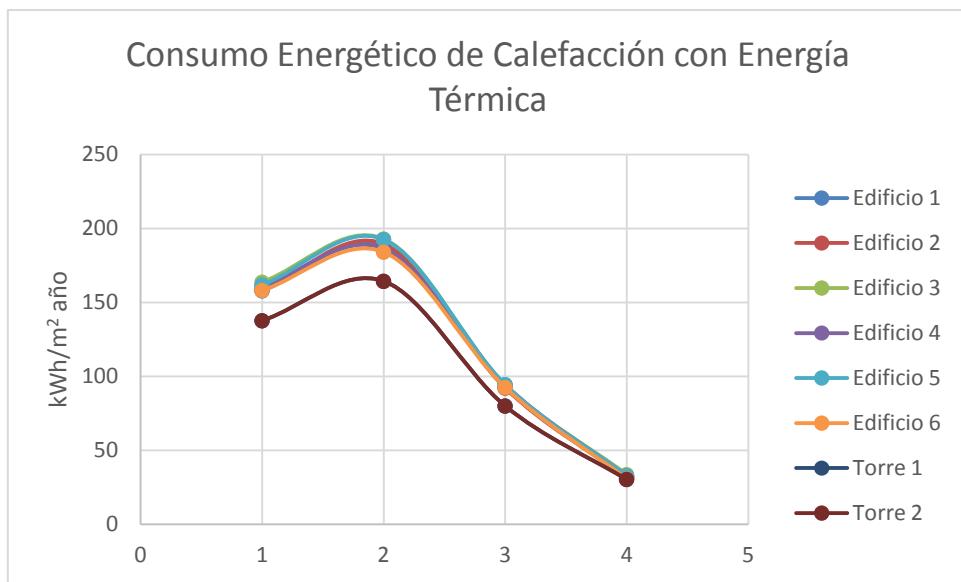


Gráfica A87: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía térmica

#### Planta última



Gráfica A88: Consumo energético de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía eléctrica



Gráfica A89: Consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos y para el caso de utilizar energía térmica

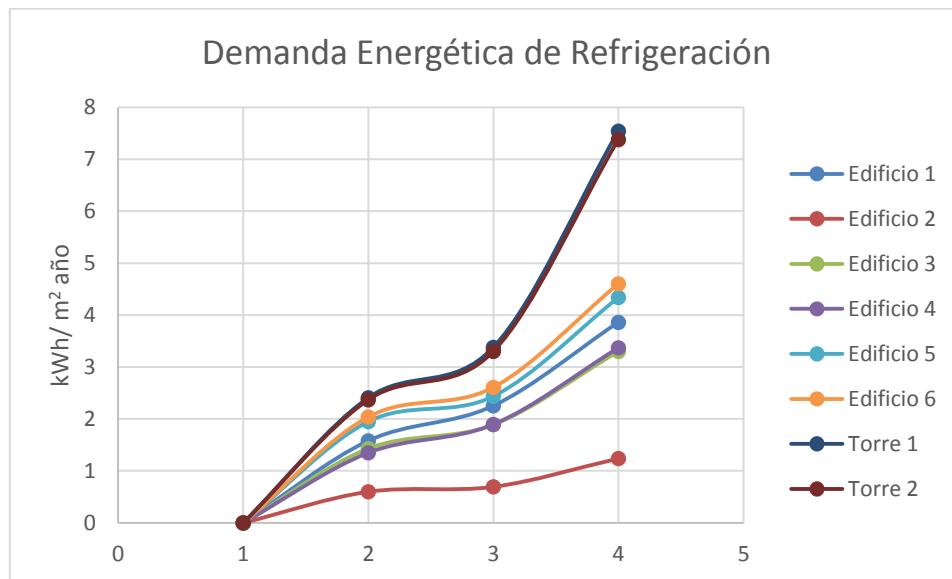
A diferencia de los resultados mostrados en el anexo 1 y en el apartado 4.3 de la memoria referente al consumo energético de calefacción la tendencia que sigue la gráfica no es descendente de forma continua.

Es cierto que en las gráficas mostradas hasta ahora, en las diferentes partes del documento, referentes al consumo energético de calefacción el consumo llevado a cabo una vez acometida la rehabilitación de los huecos ha sido ligeramente inferior al caso actual. Sin embargo, en el caso de los datos por planta se ve que el consumo es superior en el escenario 2 que en el escenario 1 (caso actual). Esto se puede deber a la pérdida de ganancias solares debido a la reducción del porcentaje de huecos (10%) que se produce con la actuación sobre ellos.

**Demanda y Consumo energético de Refrigeración:**

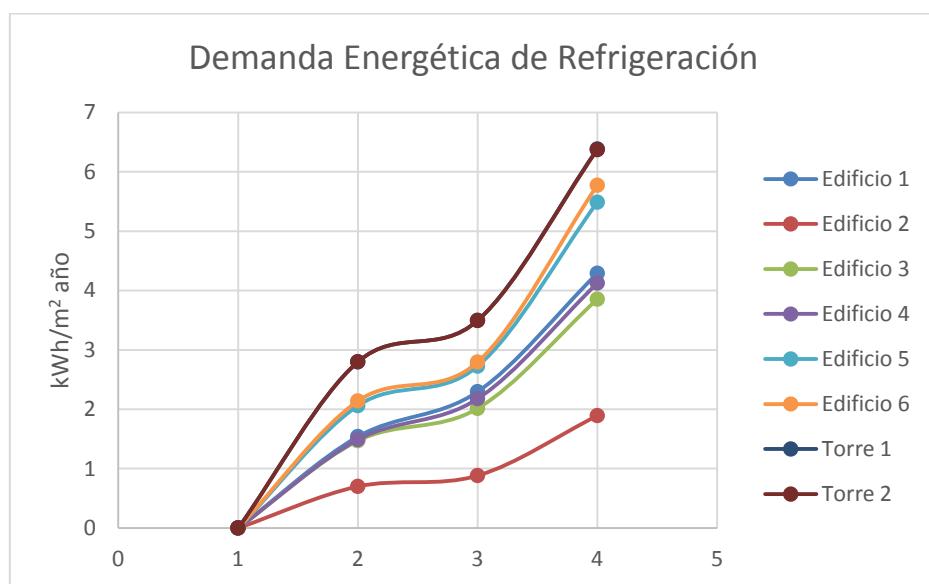
**Demanda energética**

**Planta intermedia**



Gráfica A90: Demanda energética de refrigeración por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos

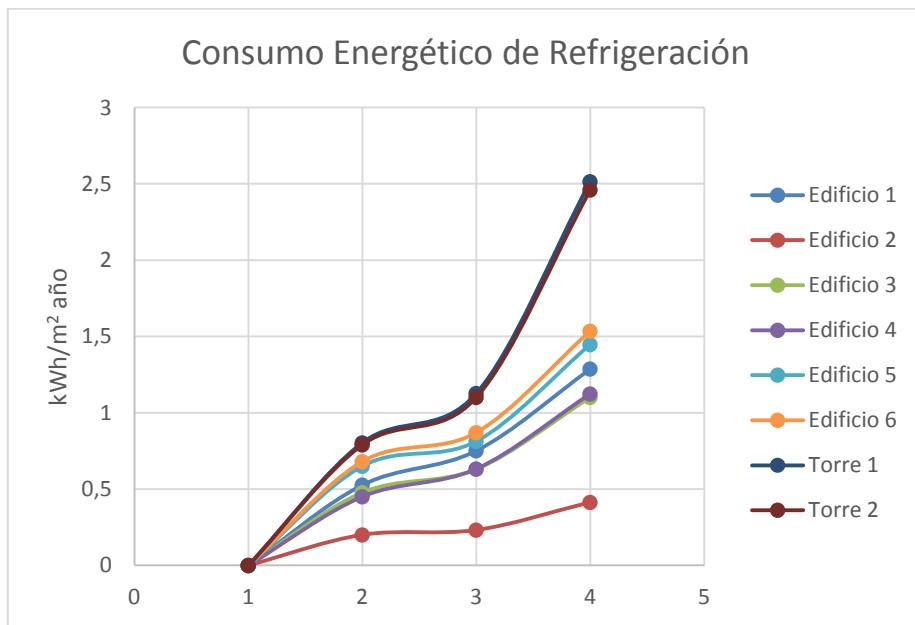
**Planta última**



Gráfica A91: Demanda energética de refrigeración por edificio para la última planta de cada uno de ellos

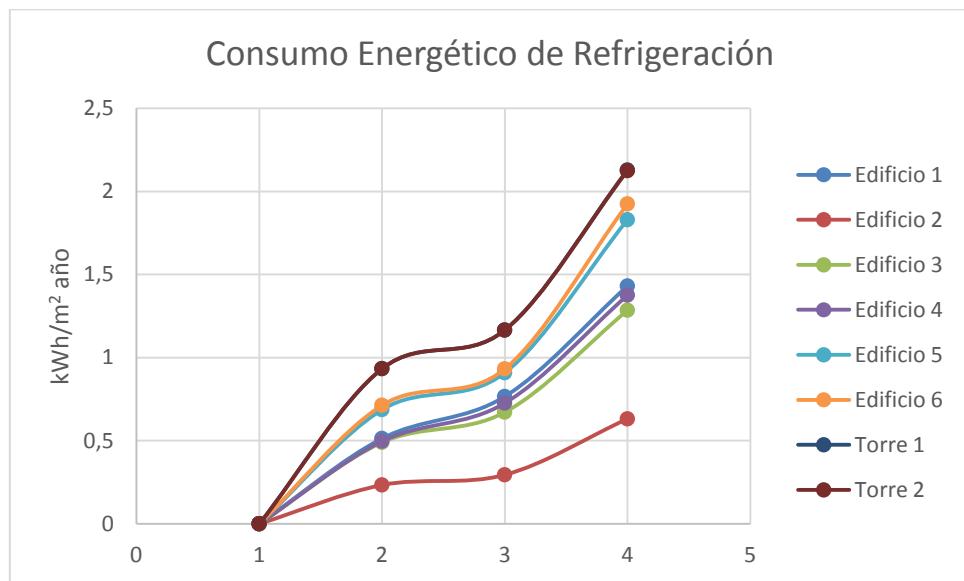
## Consumo energético

### Planta intermedia



Gráfica A92: Consumo energético de refrigeración por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos

### Planta última



Gráfica A93: Consumo energético de refrigeración por edificio para la última planta de cada uno de ellos

La trayectoria que siguen es ascendente debido a que al realizar las distintas rehabilitaciones la vivienda adquiere mejores propiedades térmicas por lo que la energía ganada (a través de paredes, sol...) se conserva durante mayor tiempo derivando esto en un mayor consumo energético de refrigeración.

Se puede ver que los valores de la planta intermedia son inferiores a los de la planta última para todos los edificios. El hecho de que ocurra esto puede deberse a dos causas principales:

- Al igual que ganancias térmicas en forma de calor (sol, resto de plantas), también se puede dar el hecho inverso, es decir, ganancias en forma de frío. Las plantas que quedan por encima y por debajo de la intermedia también se refrigeran por lo que puede repercutir en la planta intermedia.
- La otra causa puede ser la facilidad para adquirir ganancias térmicas procedentes del sol por parte de las plantas superiores. Al estar situados a una mayor altura, las ganancias solares les afectará más y por ello se consumirá mayor energía de refrigeración para dotar de confort a la vivienda.

Una vez vistas tanto las cargas térmicas como los diferentes consumo energéticos se incorporan una serie de gráficas que muestran los porcentajes de disminución y ahorro (cargas térmicas, demandas y consumos energéticos respectivamente) de los diferentes edificios por cada planta.

#### Disminución de la Carga de Calefacción:

##### *Planta intermedia*



Gráfica A94: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción por edificio para planta intermedia de cada uno de ellos

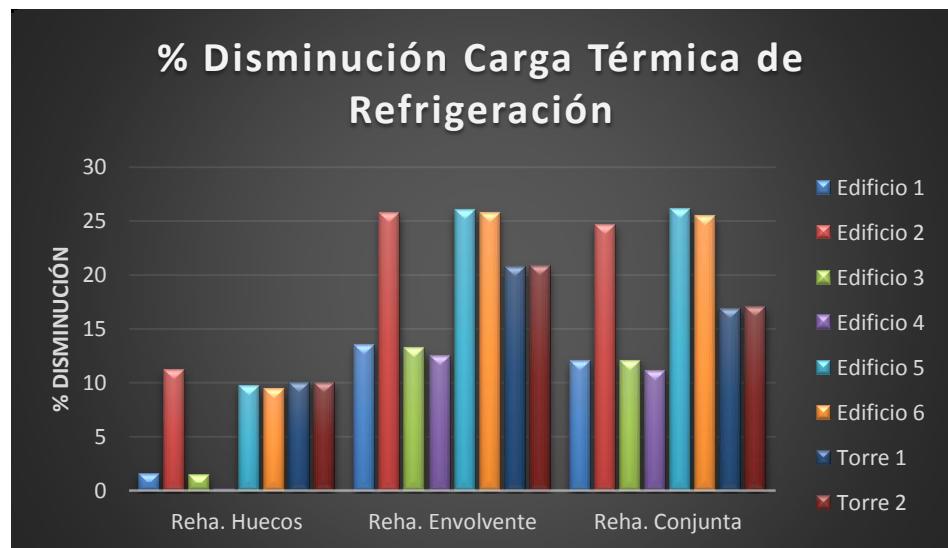
**Planta última**

**Gráfica A95: Porcentaje disminuido de carga térmica de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos**

Con ambas gráficas se puede ver de forma más contundente lo que supone la realización de las diferentes propuestas de rehabilitación en términos de disminución de la carga térmica de calefacción.

La mayor disminución se da en la planta intermedia de los edificios, aunque la diferencia de disminución es muy poca ya que los resultados son muy similares. Estas disminuciones en porcentaje se sitúan de la siguiente manera:

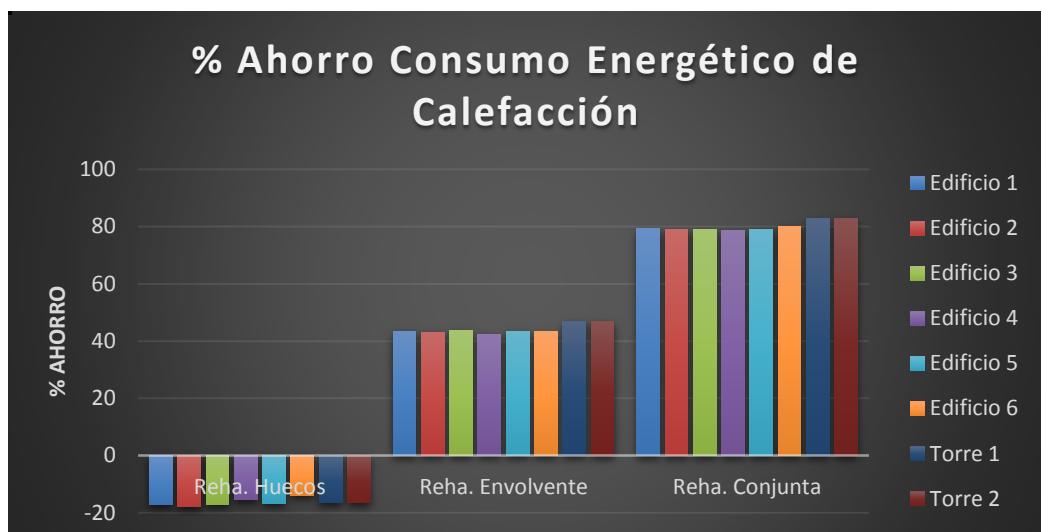
- Rehab. Huecos: con valores inferiores a un 20%, siendo para el caso de la planta intermedia de los edificios 4 y 6 algo superior a ese número.
- Reha. Envoltente: superiores a una disminución del 50% en ambas plantas aunque en la planta intermedia se aproximan más a un 60%.
- Reha. Conjunta: resultados más allá del 70%, dándose también para el caso de la planta intermedia unos valores más cercanos al 80% y por lo tanto superiores a los obtenidos para la última planta.

**Disminución de la Carga de Refrigeración:**

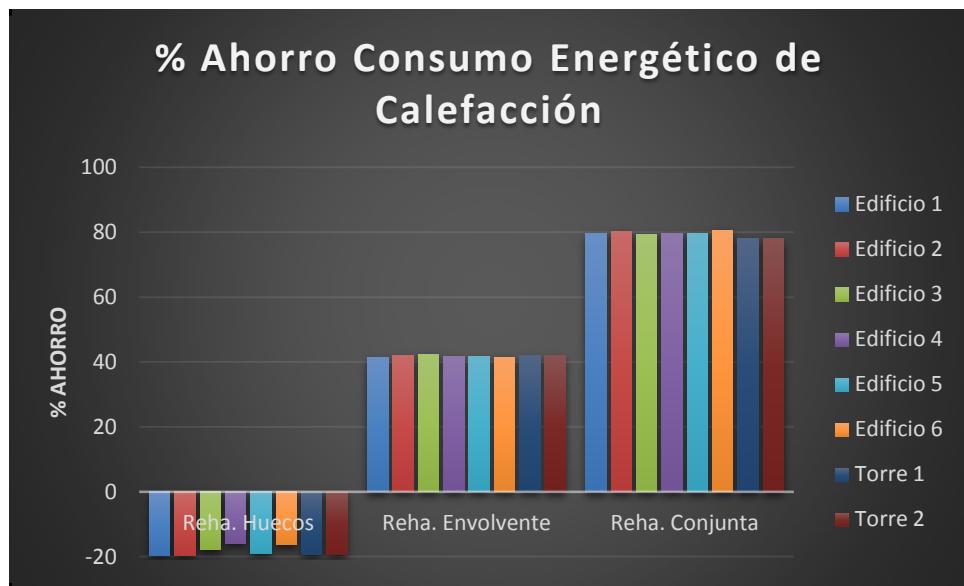
Gráfica A96: Porcentaje disminuido de carga térmica de refrigeración del por edificio

El dato llamativo en cuanto al conjunto de todos los edificios es que el mayor porcentaje de disminución se da para la rehabilitación única de la envolvente y no para el escenario que une ambas propuestas de rehabilitación (reha. conjunta). Este hecho ya se explicó en el apartado 4.3 de la memoria con bastante detalle, por lo que no es necesario aclararlo de nuevo.

El dato más llamativo es el hecho de que el edificio 2 posea, excepto en el escenario final, los porcentajes de disminución mayores. Los edificios 5 y 6 son los que presentan un valor más alto de disminución de la carga térmica de refrigeración en el caso de la rehabilitación conjunta.

**Ahorro en el consumo energético de calefacción:*****Planta intermedia***

Gráfica A97: Ahorro en el consumo energético de calefacción por edificio para la planta intermedia de cada uno de ellos

**Planta última**

**Gráfica A98: Ahorro en el consumo energético de calefacción por edificio para la última planta de cada uno de ellos**

En estas gráficas se cuantifica el ahorro que supone cada una de las medidas de rehabilitación para cada una de las plantas estudiadas.

El aumento en el consumo energético de calefacción mediante la rehabilitación de los huecos se traduce en estas gráficas en un valor negativo del ahorro, alcanzando aproximadamente el 20%. En cuanto a las otras dos situaciones los ahorros que se producen son similares para ambas plantas dándose valores ligeramente superiores en el caso de rehabilitar únicamente la envolvente; y ahorros en torno al 80% si se pone en práctica la rehabilitación conjunta.

