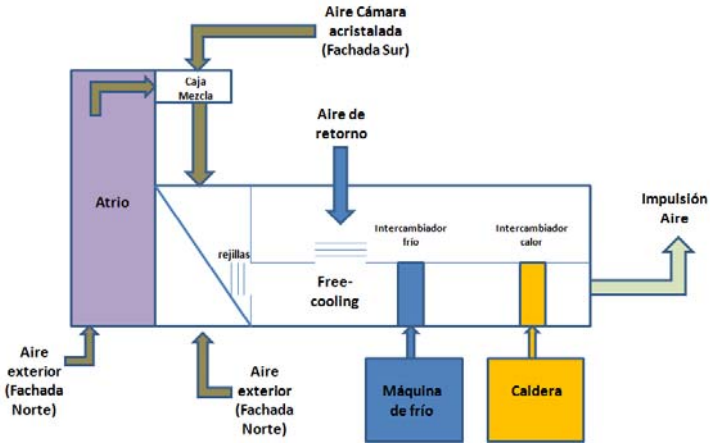
UNIVERSIDAD DE LEÓN

Departamento de Ingeniería Eléctrica y de Sistemas y Automática



Memoria

Análisis de la aportación energética de un "Atrio" conectado de forma activa con el sistema de climatización de un edificio

Presentada por Roberto Getino De La Mano para optar al grado de Doctor por la Universidad de León

Dirigida por

Dr. D. José Luis Falagan Cavero

León, Septiembre 2015

Agradecimientos

Mis más sinceros agradecimientos a mi Esposa e Hija por la paciencia y ánimo que me han dado desde el primer momento, mi agradecimiento a mi Tutor, por las aportaciones realizadas y, aunque suene raro, mi agradecimiento al “edificio real” que me ha servido para estudiar y concluir esta investigación.

¡Gracias!.

Resumen

El consumo energético en los edificios ha venido aumentado de forma considerable debido básicamente a la mejora del nivel de vida de las personas.

Actualmente no es posible construir un edificio sin que se le dote de sistemas de calefacción y, en su caso, de refrigeración. Pero, estos sistemas de climatización, consumen energía eléctrica y combustibles fósiles.

El consumo energético, implica la emisión de gases de efecto invernadero que cómo es conocido provocan efectos dañinos sobre el clima en la tierra. Es el conocido cambio climático.

La preocupación es máxima, ya que al ritmo de cambio que estamos experimentando, dentro de 50 años, la tierra puede sufrir importantes cambios que afectarán sobre la vida de las personas, provocando efectos, en algunos casos, devastadores, haciendo incluso que en algunas zonas de la tierra no sea posible su habitabilidad.

Todos nos damos cuenta del aumento de la temperatura, del aumento de las lluvias, del aumento del nivel del mar, etc..

El protocolo de Kioto, ha marcado un punto de inflexión en este cambio climático, a través del cual, los Estados se han comprometido a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las autoridades Europeas, conscientes de este problema, han elaborado Programas, Estrategias y Directivas, que obligan a los países miembros de la UE, a que en el año 2020, se haya reducido el consumo energético en un 20%, a que se genere energía eléctrica mediante sistemas renovables en un 20% y a que se reduzcan las emisiones de CO_2 en un 20%, tomando como base el año 1990.

Visto el problema, y vistas las obligaciones, "surge" este trabajo de investigación, ofreciendo una "solución válida y viable" para aplicar a los edificios y que permite contribuir de una forma muy importante a conseguir los objetivos indicados al reducir el consumo energético en un 20% si se aplica correctamente.

Un "Atrio" es una zona exenta dentro de los edificios, que antiguamente era una zona "noble", "emblemática", de "reunión", y que actualmente, si se conecta de forma activa a los sistemas convencionales de climatización se convierte además, en un gran generador de energía gratuita.

El trabajo que se presenta en esta Tesis, precisamente demuestra el importante beneficio que se tiene al construir un "Atrio" en un edificio para que trabaje conectado al sistema convencional de climatización, siendo una solución válida y viable, técnica y económicamente para reducir hasta en un 20% el consumo energético de los edificios.

Abstract

Energy consumption in buildings has been increased significantly mainly due to the improvement of living standards of people

It is currently not possible to build a building without being dowry of heating systems and, if necessary, cooling. But these HVAC systems consume electricity and fossil fuels.

Energy consumption involves the issuance of greenhouse gases that involve known how harmful effects on the climate on earth, is known climate change.

The concern is greatest, as the pace of change we are experiencing, in 50 years, the land can undergo major changes that will affect the lives of people, causing effects in some cases, devastating, making even in some areas land is not possible habitability.

We all realize the increased temperature, increased rainfall, increased sea levels, etc ..

The Kyoto Protocol, has marked a turning point in the climate change, through which States have pledged to reduce emissions of greenhouse gases.

The European authorities aware of this problem, have developed programs, strategies and directives, which require Member countries of the EU, in 2020, has reduced energy consumption by 20%, to

which energy is generated electricity from renewable systems by 20% and CO_2 emissions are reduced by 20%, based on 1990.

Seen the problem, and views its obligations, this research "appears", offering a "valid and viable solution" to apply to the buildings and allowed to contribute in a very important way to achieve the objectives set to reduce energy consumption 20% if applied correctly.

An "Atrium" is a free zone inside the buildings, formerly a "noble", "symbolic", "gathering", and now, if you connect actively to conventional air conditioning systems area becomes also a major source of free energy

The work presented in this Thesis, precisely demonstrates the important benefits that you have to build an "Atrium" in a building to work connected to conventional air conditioning system, with a valid and viable technical solution, and economically to reduce up to 20% the energy consumption of buildings.

1. ÍNDICES

1.1. Contenido

1. ÍNDICES 7
1.1. Contenido 8
1.2. Tabla de Ilustraciones 10
1.3. Acrónimos utilizados 14
2. Introducción y Objetivos 16
3. Revisión de la literatura 26
4. Definición del problema-Objetivo 35
4.1. Arquitectura Bioclimática y Eficiente Energéticamente 47
4.2. Eficiencia Energética en la Edificación 51
5. Estado del Arte 61
6. Método 69
6.1. Formulación teórica del ahorro energético que genera un “Atrio” 69
6.2. Descripción del edificio y del Atrio 77
6.3. Monitorización 85
6.4. Demandas de Calor y de refrigeración 89
6.5. Cargas de Refrigeración y Calefacción 106
6.6. Resumen cargas de refrigeración y de calefacción 113
6.7. Simulador operacional 115
7. Resultados y Presentación de datos 118
8. Análisis, Discusión, conclusiones y propuestas futuras 142
8.1. Análisis y Discusión 142
8.2. Conclusiones 163

8.3. Propuestas Futuras.....167
9. Publicaciones y Reconocimientos.....170
9.1. Aceptación del artículo.....171
9.2. Poster.....172
9.3. Certificado Mejor Poster.....173
10. Bibliografía.....175

1.2. Tabla de Ilustraciones

Ilustración 1: Proyección consumo energético en el sector edificación 17

Ilustración 2: Consumo de Energía Primaria en la UE. Mtep 19

Ilustración 3: Evolución de la Dependencia Energética 36

Ilustración 4: Demanda de energía final. Sector Edificación 38

Ilustración 5: Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España 40

Ilustración 6: Emisiones mundiales de GEI por sectores 43

Ilustración 7: Potencial económico de reducción de emisiones de GEI en 2030 (por sectores) 45

Ilustración 8: Costes comparados para la reducción de emisiones de GEI en 2030. 46

Ilustración 9: Formulación teórica del Ahorro Energético 74

Ilustración 10: Lista de variables formulación teórica del Ahorro Energético por efecto de la incorporación de un “Atrio” en un edificio. 76

Ilustración 11: Transmitancia muro norte 79

Ilustración 12: Monitorización transmitancia muro norte Atrio mediante termoflujómetro 80

Ilustración 13: Atrio. Fachadas norte, este y sur 81

Ilustración 14: Esquema integración del Atrio al sistema de HVAC 83

Ilustración 15: Rejilla fachada norte y rejilla fachada sur 84

Ilustración 16: Parámetros monitorizados 85

Ilustración 17: Monitorización Atrio y Climatización 86

Ilustración 18: Estratificación Tª aire Atrio 87

Ilustración 19: Temperaturas interiores muro norte y sur Atrio...88

Ilustración 20: Resumen cargas refrigeración 113

Ilustración 21: Resumen cargas calefacción 114

Ilustración 22: Parámetros calculados con el simulador operacional 118

Ilustración 23: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 1 a 7 120

Ilustración 24: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 8 a 14 122

Ilustración 25: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 15 a 21 124

Ilustración 26: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 22 a 28 126

Ilustración 27: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 29 a 35 128

Ilustración 28: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 36 a 42 130

Ilustración 29: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 43 a 49 132

Ilustración 30: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 50 a 52 134

Ilustración 31: Comparación entre la energía necesaria para un edificio sin Atrio y un Edificio con Atrio 135

Ilustración 32: Temperaturas medias registradas durante 52 semanas Exterior-Atrio-Impulsión HVAC 136

Ilustración 33: Temperaturas mínimas registradas en Atrio y Exterior.....138

lustración 34: Temperaturas máximas registradas en Atrio y Exterior.....139

Ilustración 35: Consumo de gas natural y rendimiento de la caldera 142

Ilustración 36: Consumo de energía eléctrica enfriadora 142

Ilustración 37: Datos de entrada simulador 143

Ilustración 38: Energía necesaria calefacción edificio sin Atrio 145

Ilustración 39: Energía necesaria refrigeración edificio sin Atrio 147

Ilustración 40: Energía total gastada para calefacción descontando los aportes gratuitos del Atrio + Free Cooling.....148

Ilustración 41: Energía total gastada para refrigeración descontando los aportes gratuitos del Atrio + Free Cooling.....149

Ilustración 42: Energía necesaria para calefacción con aportes gratuitos del Atrio + Free-Cooling.....150

Ilustración 43: Energía necesaria para refrigeración con aportes gratuitos del Atrio + Free-Cooling.....151

Ilustración 44: Sistema de HVAC 153

Ilustración 45: Ahorro energético Atrio y Free-cooling por semanas 156

Ilustración 46: Ahorro energético generado por el Atrio y por el Free-cooling en calefacción 157

Ilustración 47: Porcentaje de ahorro energético generado por el Atrio en Calefacción 158

Ilustración 48: Porcentaje de ahorro energético generado por el Atrio en Refrigeración 158

Ilustración 49: Porcentaje de Ahorro Energético por semanas ..159

Ilustración 50: Porcentaje máximo de ahorro energético según volumen de aire del Atrio.....160

Ilustración 51: Comparativa entre el ahorro energético teórico y el ahorro energético medido.....161

Ilustración 52: Grafica sobre comparativa entre ahorro energético teórico y ahorro energético medido 162

1.3. Acrónimos utilizados

AEO	-	Anual Energy Outlook
CFD	-	Dinámica de fluidos computacional
CH_4	-	Metano
CMNUCC	-	Convenio Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático
CO_2	-	Dióxido de carbono
EIA	-	U.S. Energy Información Administracion
GEI	-	Gases de efecto invernadero
HVAC	-	Sistema de climatización y ventilación
ICREPQ	-	International Conference on Renewable Energies and Power Quality
IDAE	-	Instituto para la diversificación y ahorro energético
INE	-	Instituto Nacional de Estadística
IPCC	-	Intergovernmental Panel on Climate Change
ktep	-	Kilotep
kW-h	-	Kilovatios - hora
MINETUR	-	Ministerio de Industria, Energía y Turismo
Mtep	-	Millones de tep
N_2O	-	Oxido nitroso
PMU	-	Voto medio predicho
PPD	-	Porcentaje predicho de insatisfechos
UE	-	Unión Europea

2.- INTRODUCCIÓN Y OBJETIVOS

2. Introducción y Objetivos

Gobiernos, medios de comunicación, políticos, y la ciudadanía en general hablan a diario de los efectos del cambio climático, del exceso de consumo energético, de la necesidad de ahorrar energía y de ser eficientes a la hora de consumirla, además de la necesidad de aprovechar todos los recursos renovables (energía solar, eólica, biomasa, geotérmica e hidráulica).

Los recursos energéticos no renovables, como el carbón, el petróleo y el gas natural, son recursos que con su consumo, el medio ambiente se ve afectado, debido a las emisiones de gases de efecto invernadero que se emiten con su combustión, pero además, estos recursos son agotables, y se encuentran concentrados en muy pocos países como Rusia o del Oriente Medio.

El **consumo de energía aumenta** en todos los sectores de actividad, desde la industria, pasando por el transporte hasta la edificación. En concreto, en este último sector el consumo energético ha ido aumentando considerablemente a medida que se van mejorando las condiciones de vida de los ciudadanos.

Los edificios cada vez demandan más energía, dado que las personas demandan a su vez, más confort, tanto térmico, como eléctrico, y **mayor confort es sinónimo de mayor consumo energético**. Estudios recientes indican que para el año 2025, las familias aumentarán en un 16% el consumo energético actual.

La demanda energética en los edificios va a seguir una línea ascendente en las próximas décadas, así, lo indica el "U.S. Energy Informatión Administration (EIA), en el Annual Energy Outlook 2014 (AEO2014)[1].

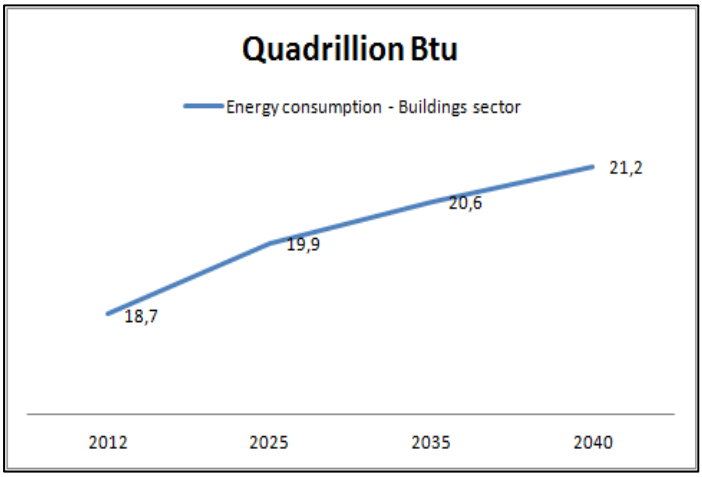


Ilustración 1: Proyección consumo energético en el sector edificación

Por su parte en Europa, cabe señalar lo expresado en la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE, esto es, "*la Unión se enfrenta a retos sin precedentes debido a una creciente dependencia de las importaciones de energía y a la escasez de recursos energéticos, así como a la necesidad de limitar el cambio climático y superar la crisis económica*".

[1] *Table CP3. Comparisons of energy consumption projections by sector, 2025, 2035, and 2040 (quadrillion Btu)*

La **eficiencia energética es un medio valioso** para superar estos retos y mejorar la seguridad de abastecimiento de la Unión al reducir el consumo de energía primaria y las importaciones de energía.

Asimismo, **ayuda a disminuir las emisiones** de gases de efecto invernadero de manera rentable en relación con los costes, y de este modo, a mitigar el cambio climático. El cambio a una economía más eficiente en el consumo de energía también debe acelerar la difusión de soluciones tecnológicas innovadoras. [1]

La eficiencia energética **es un recurso energético más**, es decir, la utilización de tecnologías y/o técnicas, que permitan potenciar y aprovechar la energía de forma más eficiente, **contribuyen a reducir el consumo de los recursos energéticos convencionales** como el carbón, el petróleo o el gas natural, lo que implica directamente, reducir la dependencia energética.

Las conclusiones del Consejo Europeo de los días 8 y 9 de marzo de 2007 insistían en la necesidad de **incrementar la eficiencia energética** en la Unión **para alcanzar en 2020 el objetivo de ahorrar un 20 % en el consumo de energía de la Unión en comparación con los valores registrados en 1990**.

En las conclusiones del Consejo Europeo de 4 de febrero de 2011 se subrayaba que debe alcanzarse el objetivo que acordó el Consejo Europeo en junio de 2010, de **aumentar en un 20 % la eficiencia energética para 2020**, objetivo que, de momento, no lleva camino de cumplirse.

Las previsiones realizadas en 2007 mostraban un consumo de energía primaria en 2020 de 1.842 Mtep[2]. Con una reducción del 20%, la cifra de consumo sería de 1.474 Mtep en 2020, es decir, **una disminución de 368 Mtep respecto a las previsiones** [1]**.**

Mtep	1990	2010	2011	2012	%2012/2011	%2012/90 anual
Consumo de energía primaria (total)	1.665,14	1.759,39	1.699,40	1.683,40	-0,90	0,00
Carbón	453,31	282,56	287,50	253,51	2,20	-2,00
Petróleo	604,23	612,40	590,51	569,22	-3,70	-0,30
Gas Natural	294,84	447,15	403,34	359,52	-2,70	1,30
Nuclear	205,21	236,56	234,01	227,71	-2,70	0,50
Renovables	70,70	168,38	163,55	184,43	9,20	4,50
Otros	36,80	11,54	14,29	15,31	7,10	-3,90

Ilustración 2: Consumo de Energía Primaria en la UE. Mtep[3]

[2] *Millones de tep. "tep" es una unidad de energía equivalente a 11.627,91 kWh*

[3] Elaboración propia.*Fuente: "La Energía en España 2013". Ministerio de Industria, Energía y Turismo. página 27*

Por lo que se refiere a España y **en concreto al sector edificación**, sector que se beneficiará de esta investigación, con los últimos datos publicados, el consumo energético del sector, ascendió a 24.575,20 ktep/año [2], de manera que, si se ahorrara un 20%, tal y como determina la Directiva de Eficiencia Energética, el ahorro energético en España, sería de 4.915,04 ktep, es decir, **se podría alimentar energéticamente de forma gratuita del orden de 4.915.000 viviendas.**

La reducción del consumo de energía que promueve la Unión Europea, va asociada a la reducción de las emisiones de CO_2, por ello, dentro de la Estrategia Europa 2020, también se fija como objetivo para el año 2020, reducir en un 20% las emisiones de CO_2 en relación a las que se producían en el año 1990.

Ante estos retos, **surge esta investigación**, cuyo objetivo es demostrar que diseñando una solución constructiva como es un "Atrio", integrándola, a su vez, con las nuevas tecnologías disponibles para la climatización de los edificios de forma que trabaje activamente, es posible cumplir los objetivos marcados por la UE, al **reducir el consumo energético de los edificios en un 20%**, maximizando así la eficiencia energética de los edificios y contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La investigación que se presenta en esta Tesis, ha servido para analizar el comportamiento térmico del aire de ventilación en un edificio de uso terciario, y en el que se ha destinado un espacio dentro del propio edificio a modo de "Atrio", con una función energética

como si se tratara de un elemento más de la instalación de climatización, trabajando de forma activa con el resto de elementos.

Hoy, por hoy, se utiliza la expresión "arquitectura bioclimática y de alta eficiencia energética" para definir un tipo de arquitectura, que es respetuosa con el medio ambiente y que además permite reducir el consumo de los edificios, **sin que hasta el momento se haya cuantificado estos efectos**.

Con este trabajo de investigación, se pretende “validar” una solución, de tipo bioclimático y de alta eficiencia energética, como sería la construcción de un "Atrio", para contribuir a conseguir los objetivos marcados de reducir en un 20% el consumo energético de los edificios.

Esta investigación, demuestra, que una solución como es la construcción de un "Atrio" así como su integración activa con el sistema de climatización, aplicado a **un correcto, pensado y meditado diseño de los edificios**, hace que éstos, se comporten casi como un organismo vivo, que es capaz de aprovechar las condiciones térmicas y ambientales en su propio beneficio reduciendo el consumo energético.

Esta Tesis, se ha articulado en diez Capítulos, en el **primer Capítulo** se reflejan los índices, el **segundo Capítulo**, se refiere a la **Introducción y objetivos**, recogiéndose en el mismo, (i) el objeto de este trabajo, (ii) una breve descripción del status questionis, (iii) el interés del tema para su autor, y, (v) la descripción de los Capítulos y su contenido.

El **tercer Capítulo**, se dedica a realizar una **revisión de la literatura** fundamental consultada, tanto teórica como empírica, relacionada a través de diferentes informes y artículos publicados en revistas internacionales.

El **cuarto Capítulo**, es en el que **se define el problema y se justifica el porqué de esta investigación**, presentará el contexto general y la situación energética en España, haciendo especial mención al sector edificación, pues los resultados obtenidos en esta investigación se refieren a este sector y será, este sector, el beneficiado directamente.

A su vez, dada su relación directa, en este Capítulo, se recogen y resumen los últimos datos relativos al cambio climático como justificación de las distintas políticas que promueven el ahorro energético y la eficiencia energética así como el reto al que nos enfrentamos en la UE, para conseguir reducir en un 20% tanto el consumo de energía como las emisiones de CO_2 en el sector edificación, en definitiva, se contextualiza esta investigación en la realidad actual.

El **Capítulo quinto**, dedicado al **"estado del arte"**, describe en resumen, y de forma cronológica, varios artículos y publicaciones consultados que tratan sobre aspectos térmicos y energéticos de los "Atrios". Aunque se debe indicar, que como se verá en este Capítulo, el estudio sobre la conexión activa al sistema completo de climatización, **que es el aspecto tratado en esta investigación**, no se ha llevado a cabo, siendo los trabajos consultados más teóricos que reales y analizando más bien, aspectos como (i) la estratificación de la temperatura en los "Atrios", debida a su altura, (ii) el efecto de la

geometría del atrio sobre las cargas energéticas del edificio, o aspectos relativos a la mejora del confort en el interior de las zonas ocupadas.

El **Capítulo sexto**, recoge, **el Método** aplicado en esta investigación, así, se describe de forma expresa la investigación que se ha llevado a cabo, describiendo las operaciones realizadas, las hipótesis planteadas, la monitorización realizada, las variables que se han tenido en cuenta, cómo afectan a los datos registrados y obtenidos.

En este capítulo, se recogen los aspectos teóricos sobre los posibles efectos que se pueden dar por la conexión activa del "Atrio" al sistema de climatización, esto es, la formulación teórica. Así mismo, se recogen las explicaciones sobre un simulador operacional que se ha diseñado para poder determinar las conclusiones a las que se ha llegado, variables que se han tenido en cuenta, interrelación entre ellas, cálculos y simulaciones realizadas, así como la validación de la formulación teórica y la realidad obtenida mediante la monitorización, registro y análisis de los datos reales.

En el **Capítulo siete**, se muestran los **resultados obtenidos** a lo largo de la investigación haciendo una presentación detallada de los **datos** y dando paso al **Capítulo ocho**, que se dedica a realizar un **análisis, discusión, las conclusiones y propuestas de futuro**.

Se incluye un **Capítulo noveno**, en el que se recoge el **reconocimiento internacional** que ha tenido esta investigación en la “XIII International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ´15)”, celebrada en la Coruña los días 25 a 27 de marzo de 2015, donde, se ha presentado el artículo titulado " **The**

energy saving effect of incorporating an ATRIUM into a building ", el cual, ha sido escogido por los Autores, como el mejor poster presentado por su originalidad, interés, calidad, elaboración, referencias, objetivos y conclusiones.

Cerrando con las **referencias bibliográficas** consultadas en el **Capítulo décimo.**

3.- REVISIÓN DE LA LITERATURA

3. Revisión de la literatura

Para contextualizar la investigación que se presenta en esta Tesis, a continuación se lleva a cabo la revisión de la literatura que se ha consultado, empezando por presentar (i) "el problema" a resolver, esto es, reducir el consumo energético de los edificios, (ii) los efectos sobre el cambio climático, (iii) las soluciones posibles relacionadas con el objeto de la investigación y (iv) las investigaciones realizadas por otros Autores relacionadas con el objeto de esta Tesis.

En este sentido, cabe señalar, que con objeto de enmarcar el "problema", primeramente se ha llevado a cabo un análisis de la producción y demanda de energía, para cuantificar la importancia del sector edificación, ya que esta investigación se refiere a este sector.

El consumo energético del sector edificación, representa, el 30,4%, del consumo total en España, ascendiendo en el año 2013 a 24.579 ktep/año, así, lo ha puesto de manifiesto el IDAE (Organismo Público dependiente del Ministerio de Industria, Energía y Turismo), en el Informe anual de consumos realizado por el IDAE en el año 2013 [2].

Por otra parte, y al haberse aplicado en España, políticas generales para la mejora de la eficiencia energética en todos los sectores consumidores, así como teniendo en cuenta la crisis económica que se vienen sufriendo desde el año 2008, la demanda total de energía en España, ha descendido en el año 2013, en el entorno del -6%, así se justifica en el informe "La Energía en España en 2013", elaborado por el MINETUR [3], en todo caso, y a pesar de que este dato puede ser

alentador, considero que aún estamos lejos de conseguir los objetivos que se han fijado por parte de la UE en la estrategia 20-20-20 en el 2020, donde se ha establecido como uno de los objetivos, **reducir el consumo energético en un 20% en el año 2020** [4], esto es, se deben llevar a cabo soluciones que puedan contribuir a la reducción del consumo energético y soluciones que permitan aumentar la eficiencia energética de los sistemas y del consumo energético, lo cual está en consonancia con la investigación realizada, plasmada en esta Tesis, pues se ha estudiado y comprobado cómo hay soluciones que pueden contribuir a reducir el consumo energético, en este caso, en los edificios, que pueden cumplir el objetivo previsto por la Comisión Europea.

Esta certeza, en relación a que no se están consiguiendo los objetivos marcados para el año 2020, se ha corroborado por el Consejo y el Parlamento Europeos en la Directiva 2012/27/UE de eficiencia energética [1].

En este sentido, se recoge en el apartado 2 del preámbulo que las conclusiones del Consejo Europeo de los días 8 y 9 de marzo de 2007 insistían en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la Unión para alcanzar en 2020 el objetivo de ahorrar un 20 % en el consumo de energía de la Unión en comparación con los valores previstos.

Se remarca en la Directiva, que en las conclusiones del Consejo Europeo de 4 de febrero de 2011 se subrayaba que debe alcanzarse el objetivo que acordó el Consejo Europeo en junio de 2010, de aumentar en un 20 % la eficiencia energética para 2020, **objetivo que, de momento, no lleva camino de cumplirse**.

Sin duda, las Autoridades Europeas, están preocupadas ante el hecho de que no se están consiguiendo los objetivos establecidos relacionados con la reducción del consumo energético y consecuentemente, con la reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, de manera que siguen programando, políticas y estrategias a corto y largo plazo para promover el consumo sostenible y el paso a una economía hipocarbónica competitiva, señalando la necesidad de centrarse más en la eficiencia energética.

En definitiva, existe **"un problema"**, en el que el sector edificación tiene una parte de culpa.

Una vez contextualizado "el problema", se han analizado varias publicaciones relativas "al cambio climático", por cuanto, el consumo energético en los edificios contribuye negativamente.

Así se considera, ya que el exceso de consumo energético en los edificios nos lleva a la emisión de cantidades excesivas de gases de efecto invernadero, al igual que el consumo NO eficiente de los recursos energéticos, por ello, buscar soluciones, como la que se ha estudiado en esta investigación, que se encaminen a mejorar la eficiencia en el consumo y uso de la energía en los edificios, siempre serán, soluciones bien recibidas.

No es posible obviar, que se está produciendo un cambio en el clima, el documento "El Clima en Peligro", elaborado por GRID-Arendal y el Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino en 2009 [5], indica que la concentración de CO_2 ha aumentado en un 30% en los últimos 100 años, la temperatura media del planeta ha aumentado, el nivel de los mares está aumentando, la masa de los

glaciares está disminuyendo, y uno de los factores principales es la actividad humana, entre la que se encuentra el consumo energético de los edificios. La contribución en las emisiones de CO_2 de los edificios es del 15,30% [5].

Es decir, hay que mitigar los efectos dañinos sobre el clima, y para ello, alguna de las soluciones, que además, pueden resultar económicamente rentables y favorables, son aquellas que mejorar la eficiencia energética en el consumo y aquellas que utilizan fuentes gratuitas de energía, como son soluciones de arquitectura sostenible, bioclimática y de alta eficiencia energética, tal y como se ha manifestado por el Panel Intergubernamental del Cambio Climático en el último informe publicado [6].

Se considera, que antes de construir un edificio, es necesario estudiar el entorno, las necesidades, el confort, las fuentes gratuitas y todos los aspectos arquitectónicos que pueden afectar al consumo de energía, para intentar reducir al máximo ese consumo energético, bajo unas condiciones económicas y de confort satisfactorias para las personas que habitarán esos edificios, en definitiva hay que construir edificios bioclimáticos y de alta eficiencia energética.

Puesto que la investigación pretendida, se centra en "validar" una solución constructiva, como es un "Atrio", como una solución eficiente energéticamente con un efecto de reducción del consumo energético y de las emisiones de CO_2, se han consultado, estudiado y analizado diversas publicación sobre arquitectura bioclimática y de alta eficiencia energética, y coincido completamente con Fernando M. Tabernero Duque, cuando dice que *"aunque no existe aún una definición que sea universalmente aceptada, la arquitectura ha sido inexplicablemente bioclimática desde entonces, desde antes incluso de*

su nacimiento, hasta bien entrado el siglo XX. Un edificio no es más o menos bioclimático sólo por estar construido con unos u otros materiales, ni por tener una orientación, ni tan siquiera por contar con algún tipo de certificación. Estos son sólo algunos de los elementos que intervienen, pero no se trata de cumplimiento de ordenanzas, sino de una concepción global, que va desde su ubicación y tipología hasta sus acabados e instalaciones" [7].

A mi modo de ver, la arquitectura bioclimática y de alta eficiencia energética, no es una arquitectura especial, rara, extraña o que vaya a utilizar alta tecnología, todo lo contrario, sólo hay que fijarse en las construcciones tradicionales y antiguas, y descubriremos una arquitectura y unos edificios adaptados al medioambiente, capaces de ofrecer condiciones de habitabilidad muy confortables con un consumo energético muy eficiente y reducido, así lo han visto Rubén García y Roser Amills en su "guía sobre arquitectura bioclimática" publicada en 1991 [8], cuando dicen que la arquitectura bioclimática *no consiste en inventar elementos extraños, sino en diseñar con los ya existentes y sacar el máximo partido de los recursos naturales que el entorno nos brinda*.

Por lo que se refiere al aspecto experimental, sobre los efectos energéticos de un "Atrio", se han consultado **diversos artículos publicados**, relacionados, aunque ninguno de ellos, ha tratado expresamente el tema de la investigación realizada, esto es, **cuantificación del ahorro energético que genera un "Atrio" sobre los edificios**, aunque sí que están relacionados, con los aspectos técnicos de esta investigación y que se analizan expresamente en el Capítulo sobre el “estado del Arte”.

Xin Wang, Chen Huang y Weiwu Cao, tratan de aportar un modelo matemático para estudiar el comprotamiento de la temperatura del aire en sistemas de ventilación hibrida para grandes espacios de trabajo tipo "Atrio" [9], aunque su estudio **es un estudio teorico**, sobre un modelo ideal.

Aldawoud, Abdelsalam, ha estudiado el efecto sobre la demanda energética que se tendría en un edificio por tener una forma geometrica u otra. Al respecto dice *que el "Atrio" alargado y estrecho o el "Atrio" rectangular con gran longitud con relación a la anchura provoca mayor demanada energética, tanto de calor como de frío si se compara con un "Atrio" de geometría cuadrada* [10]. Pues bien, estas conclusiones, **no se comparten en su totalidad**, ya que la investigación llevada a cabo por Aldawoud, se ha centrado en determinar los efectos negativos de un "Atrio" sobre la demanda energética del edififico, sin embargo, como se demostrará en esta investigación, un "Atrio", correctamente dimensionado, y estudiado a efectos de convertirlo en un capatador pasivo y un acumulador activo de energía, conectado al sistema de climatización, contribuye de forma muy positiva a la reducción de la demanda energética, siempre que su ubicación esté prevista sin necesidad de ser climatizada, convirtiendose además en un productor energético gratuito.

Con las afirmaciones realizadas por M. Khalaji Assadi, F. Dalir y A.A. Hamidi, **en modo alguno estoy de acuerdo**. Estos Autores, indican en su investigación [11] que la construcción de un "Atrio" no conduce automáticamente a un ahorro energético y se centran en indicar que la construcción de un "Atrio", implica mayor necesidad de iluminación artificial y mayor demanda por ventilación, lo cual, en base a la investigación realizada en esta Tesis, **no se considera cierto**, pues lo importante de un "Atrio", es su conexión con el sistema de climatización de forma activa con objeto de aprovechar las

condiciones térmicas del aire existente en ese espacio. También es cierto, que el "Atrio" debe ser concebido desde el inicio con una función energética activa, y los Autores basan su investigación en que rara vez se construye un "Atrio" en un edificio con funiones de ahorro energético, no obstante, indican en su investigación, que no es posible diseñar un "Atrio" con un volumen suficiente de aire para suministrar el 100% de la demanda térmica, **afirmación con la que estoy completamente de acuerdo**, pues la demanda energética de un edificio se produce por dos efectos, (i) transmisión y (ii) ventilación, y por tanto, como el efecto favorable del "Atrio" se produce en el aporte de aire para ventilar el edificio y no en la transmisión térmica del mismo, que dependerá de los materiales con los que se haya construido la envolvente térmica, pues aunque se construyera un edificio con el volumen suficiente para suministrar al 100% el aire de ventilación, el ahorro energético, no podría ser del 100% nunca, ya que no puede compensar las pérdidas por transmisión.

A parte de la mejora de la eficiencia energética en el consumo energético de los edificios que genera un "Atrio", también hay que destacar la mejora que se genera sobre el confort en la habitabilidad, ya que las condiciones de temperatura y humedad del aire residente en el "Atrio" y que luego se utiliza para el sistema de climatización son muy favorables. **Esta conclusión esta en concordancia** con lo establecido por Shafqat Hussain y Patrick H. Oosthuizen, ya que han corroborado los efectos favorables sobre el confort térmico en un edificio que cuenta con un "Atrio" y que se ha adoptado una estrategia de ventilación pasiva [12].

Otros trabajos de investigación consultados, han sido los publicados por Pei-Chun Liu, Hsien-Te Lin y Jung-Hua Chou [13], por Y. Ji, M.J. Cook, V. Hanby [14], y por Li, Chuancheng; Zhang, Junyi; Zhang, Zhaozhao; Ji, Qunfeng [15] ambos relativos al estudio

del movimiento del aire en un "Atrio", mostrando como varia la temperatura del aire en el "Atrio" a medida que se aumenta la altura, **efecto que se ha podido constatar en la investigación que recoge esta Tesis** y por tanto completamente de acuerdo con los resultados obtenidos por estos Investigadores.

Peizhe, Tian; Enxiang, Zhang y Guangling, Guo, han estudiado las dificultades para estimar la carga de refrigeración en un edificio con un "Atrio", indicando que es difícil como consecuencia de los fenómenos térmicos complejos que ocurren en el "Atrio" [16], al respecto, **no estoy de acuerdo**, por cuanto, los fenomenos fundamentales que se producen en un "Atrio", se refieren a la estratificación de la temperatura debida a la altura y a las posibles captaciones de energía de forma pasiva por efecto del sol, en consecuencia si se tienen monitorizado estas variaciones, estimar la carga, por ventilación es sencillo, pues depende de la masa, que es conocida y de la temperatura, que es conocida, al monitorizarla.

Todas estas publicaciones han servido para comprender el estado de la cuestión, obteniendose indicaciones para el enfoque, metodo y la instrumentación para el análisis de datos, de manera que, teniendo en cuenta, que estos artículos son de tipo teorico, mientras que la investigación presentada en esta Tesis, se ha llevado a cabo utilizando datos reales de un edificio, se ha estimado que el grado de "exito" de los resultados de esta investigación, es muy elevado.

4.- DEFINICIÓN DEL PROBLEMA-OBJETIVO

4. Definición del problema-Objetivo

El sector edificación, es un sector consumidor de energía que a lo largo de los años, vienen aumentando la tasa de consumo como consecuencia de la mejora en las condiciones de vida de las personas.

Este aumento del consumo energético afecta al cambio climático, por ello, las autoridades mundiales, muy en especial las europeas, han elaborado estrategias para intentar, mitigar el cambio climático.

En concreto, en la UE se ha fijado como objetivo **reducir en un 20% el consumo de energía en el año 2020**, referenciado al consumo producido en el año 1990.

Con objeto de centrar esta investigación, es necesario presentar una serie de aspectos, fundamentales, **para ver la importante utilidad de la investigación llevada a cabo**.

La dependencia energética exterior de España, esto es la importación de petróleo y gas natural, **es elevada**, situándose en el **71,2% en 2013**, lo que hace de España un país **"débil"** en recursos energéticos estratégicos.

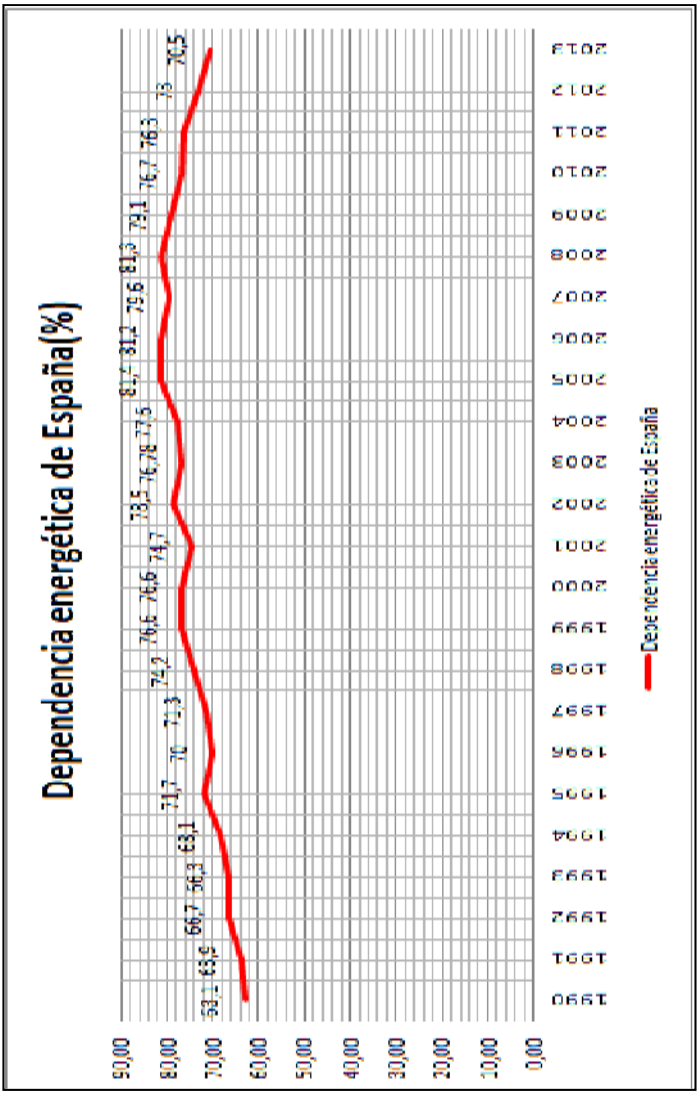


Ilustración 3: Evolución de la Dependencia Energética[4]

[4] Elaboración propia. *Fuente: "EUROSTAT. Energy Dependence"*

La demanda de energía final en España durante el año 2013, incluyendo el consumo para usos no energéticos fue de **85.436 kilo toneladas equivalentes de petróleo (ktep),** si toda esta energía se destinara a abastecer viviendas, representaría el consumo total anual de 100 millones de viviendas.

Si se hace un análisis por sectores, el sector industrial, consume el 25,69% de la energía final, esto es, 20.762 ktep, el sector transportes, el 39,38%, es decir, 31.829 ktep, y **en otros usos, donde está incluido el sector edificación, el 34,39%**, esto es, 28.219 ktep.

De forma concreta, la demanda energética final, de los edificios, asciende a **24.575,20 ktep/año**, de los cuales, **9.563 ktep/año**, **corresponden a edificios de servicios** (38,91%), edificios en los que para la climatización se utiliza aire y en los cuales es necesario renovar aire, por lo que son los edificios susceptibles de trasladar los resultados obtenidos en esta Tesis.

Demanda de energía final en España (ktep)	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Sector Residencial	9.162,00	9.673,70	9.755,30	9.796,30	10.263,20	10.009,40
Sector Servicios	3.416,70	3.722,70	3.940,80	3.833,10	4.179,50	4.325,50
TOTAL	**12.578,70**	**13.396,40**	**13.696,10**	**13.629,40**	**14.442,70**	**14.334,90**

Demanda de energía final en España (ktep)	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Sector Residencial	10.569,90	10.752,90	11.098,40	11.806,00	11.999,90	12.620,20
Sector Servicios	4.708,20	5.264,60	5.427,30	5.891,60	6.709,50	7.058,20
TOTAL	**15.278,10**	**16.017,50**	**16.525,70**	**17.697,60**	**18.709,50**	**19.678,40**

Demanda de energía final en España (ktep)	2002	2003	2004	2005	2006	2007
Sector Residencial	12.552,50	13.897,70	14.671,00	15.131,50	15.578,00	15.623,60
Sector Servicios	7.654,90	7.141,10	7.745,10	8.414,60	8.926,50	8.818,50
TOTAL	**20.207,40**	**21.038,80**	**22.416,10**	**23.546,50**	**24.504,50**	**24.442,10**

Demanda de energía final en España (ktep)	2008	2009	2010	2011	2012	2013
Sector Residencial	15.494,80	15.923,40	16.919,60	15.627,00	15.524,90	15.011,30
Sector Servicios	9.296,30	9.405,20	9.797,10	10.202,50	10.045,50	9.563,90
TOTAL	**24.791,10**	**25.328,60**	**26.716,70**	**25.829,50**	**25.570,40**	**24.575,20**

Ilustración 4: Demanda de energía final. Sector Edificación[5]

[5] *Elaboración propia. Fuente: EUROSTAT. Final energy consumption by sector.*

En todo caso, y aunque los edificios de oficinas son los primeramente beneficiados de esta investigación, el resto de edificios para otros usos, también se pueden beneficiar de los resultados obtenidos.

Este consumo energético, sin duda, provoca el llamado "cambio climático", por ello, es importante aportar soluciones que contribuyan a reducir el consumo energético y a mejorar la eficiencia energética en el uso de la energía.

Estudiar el clima es una disciplina de investigación compleja y de rápida evolución, debido, básicamente, a la gran cantidad de factores que intervienen.

Como ya se sabe, el cambio climático, es la variación global del clima de la Tierra. Este cambio del clima, es debido a causas naturales y también a la acción del hombre y se produce a muy diversas escalas de tiempo y sobre todos los parámetros climáticos, esto es, temperatura, lluvia, nubosidad, viento, olas, mareas, etc.

Uno de los aspectos más importantes en la actualidad en los que se está trabajando y a los que se dirigen todas las estrategias, políticas y acciones, es reducir los efectos de las emisiones de gases de efecto invernadero (**dióxido de carbono** (CO_2), el óxido nitroso (N_2O) y el metano (CH_4)), que se generan, entre otros, con el consumo energético, sobre todo de combustibles fósiles como el petróleo y el gas natural.

El mundo industrializado ha conseguido que **la concentración de estos gases haya aumentado un 30% desde el siglo pasado**.

En la ilustración siguiente se aprecia de forma muy visible la evolución de las emisiones en España.

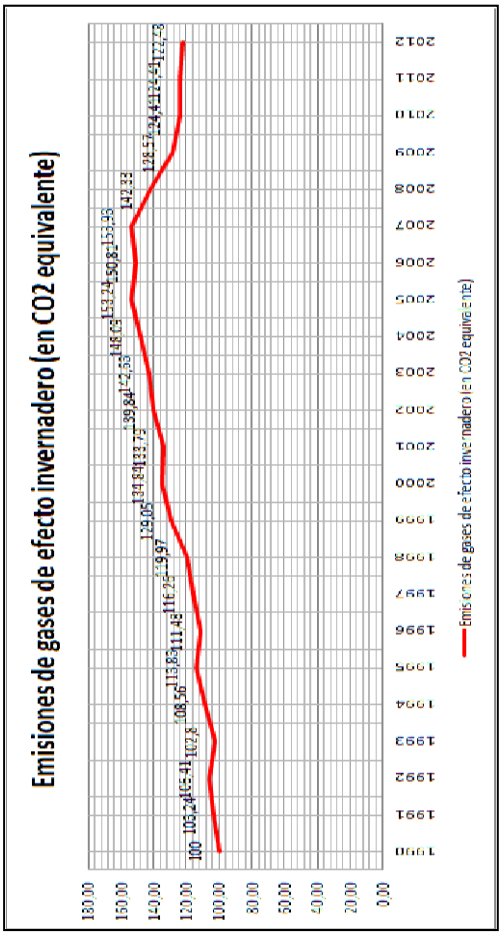


Ilustración 5: Evolución de las emisiones de gases de efecto invernadero en España[6]

[6] *Elaboración propia. Fuente EUROSTAT.*

Actualmente, existe un consenso científico, casi generalizado, en torno a la idea de que **nuestro modo de producción y consumo energético está generando una alteración climática global**, que provocará, a su vez, serios impactos tanto sobre la tierra como sobre los sistemas socioeconómicos, y en definitiva sobre la vida en la Tierra.

De media, la temperatura en la Tierra ha aumentado aproximadamente 0,6°C en el siglo XX. El nivel del mar ha crecido de 10 a 12 centímetros y los investigadores consideran que esto se debe a la expansión de océanos, cada vez más calientes.

El IPCC[7] prevé un aumento de 1,4 a 5,8°C en las temperaturas superficiales medias de nuestro planeta durante los próximos 100 años.

Entre 1970 y 2004, las emisiones de gases de efecto invernadero han aumentado un 70%, en términos de su potencial de calentamiento global.

Las emisiones globales de GEI continuarán creciendo durante décadas a menos que se pongan en marcha nuevas políticas para reducir el cambio climático y para promover un desarrollo sostenible.

Los investigadores, ya indican que con toda seguridad, los cambios en el presente siglo serán mayores que en el siglo XX.

[7] *Intergovernmental Panel on Climate Change*

Muchas **tecnologías** para mitigar el cambio climático están ya disponibles o probablemente lo estarán hacia el año 2030, pero, es de común consenso, que, **se necesitan incentivos e investigación para mejorar su efectividad y reducir su coste.**

En la actualidad, ya no quedan dudas de que la mayor parte del aumento observado en las temperaturas medias globales de la tierra desde mediados del siglo XX **se debe al incremento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) procedentes de las actividades humanas**, entre las que **una de las más importantes es el consumo energético en los edificios.**

Los **edificios suponen el 15,30% de las emisiones de CO_2**, el 9,90% lo aportan los edificios para uso residencial y el 5,40% los edificios para uso comercial.

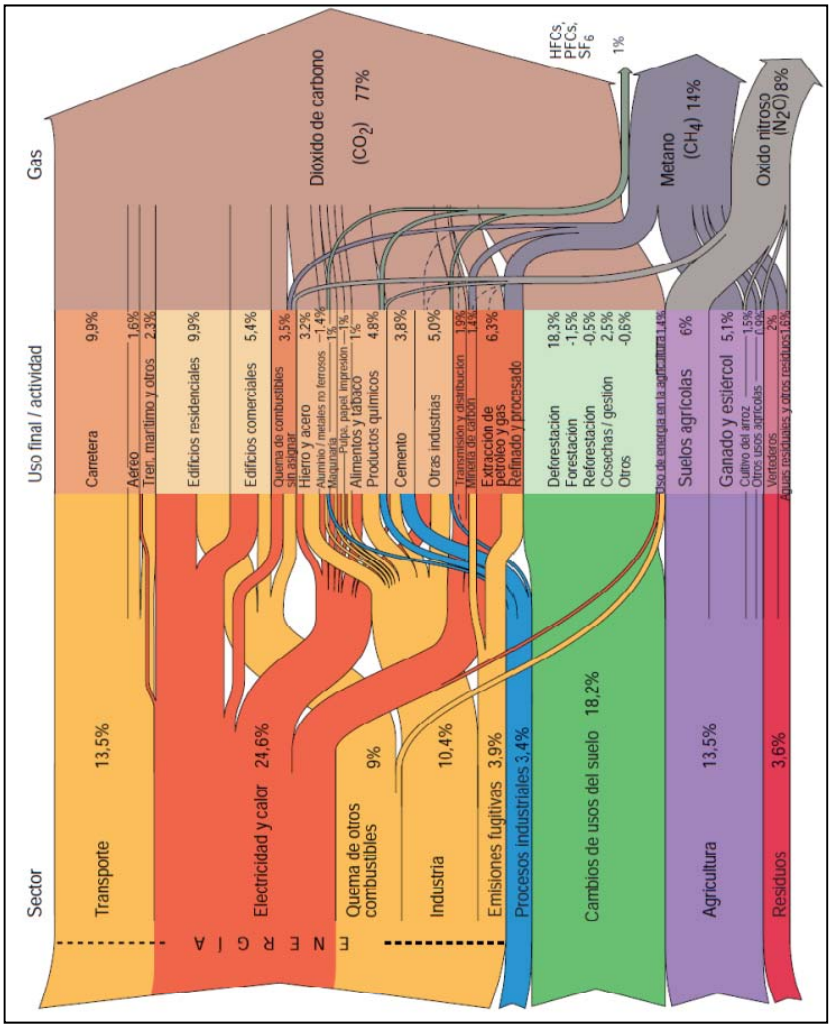


Ilustración 6: Emisiones mundiales de GEI por sectores[8]

[8] *Fuente: World Resources Institute, Climate Analysis Indicator Tool (CAIT), Navigating the Numbers: Greenhouse Gas Data and International Climate Policy, Diciembre 2005; Intergovernmental Panel on Climate Change, 1996 (datos para el año 2000).*

Según indica el IPCC, si las políticas para mitigar el cambio climático y las medidas relacionadas orientadas a un desarrollo sostenible se mantienen como hasta ahora, **sin cambios apreciables**, las emisiones globales de GEI continuarán creciendo durante las próximas décadas.

Las emisiones continuadas de GEI, a unas tasas iguales o superiores que las actuales, **causarán más calentamiento e inducirán muchos cambios en el sistema climático** global durante este siglo, cambios que serán mayores que los observados durante el siglo XX.

La mitigación del cambio climático persigue **reducir la velocidad y la magnitud del cambio**. Ralentizar los procesos de cambio climático evitaría, o al menos retrasaría, muchos de sus impactos.

Algunos estudios señalan la existencia de oportunidades para la mitigación que además proporcionarían beneficios netos. La mitigación puede generar resultados positivos también en términos económicos, por ejemplo, a través del **desarrollo de nuevas tecnologías o de la reducción de los costes energéticos**.

La **eficiencia energética** y el empleo de energías renovables ofrecen, por su parte, sinergias desde la perspectiva del desarrollo sostenible.

Según diversos estudios realizados, el mayor potencial económico de reducción de emisisoines de GEI en 2030, precisamente, **se da en el sector edificación**, así se muestra en la ilustración siguiente.

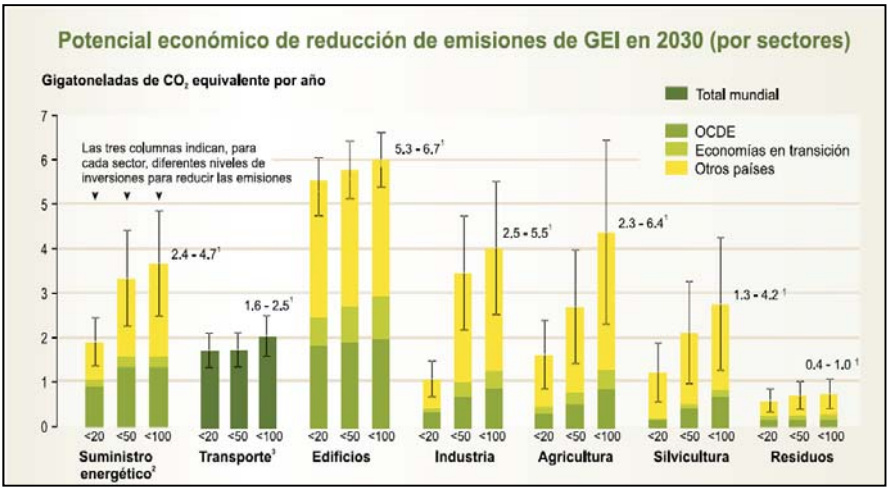


Ilustración 7: Potencial económico de reducción de emisiones de GEI en 2030 (por sectores)[9]

Cuanto más importantes sean los recortes de emisiones planteados, mayores serán los costes requeridos para lograrlos.

En la figura siguiente se muestra el coste de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero en 2030, comparándolo con diversas tecnologías y medidas.

[9] *Fuente: IPCC.2007*

Es importante destacar, que los **mayores ahorros** se consiguen a través de medidas relacionadas con la **Arquitectura bioclimática y de alta eficiencia energética**, **donde se encuadraría la construcción de un "Atrio"**, así, la aplicación de medidas de aprovechamiento gratuito para la climatización de edificios con sistemas eficientes se encuentran entre las medidas que conllevan mayor ahorro económico.

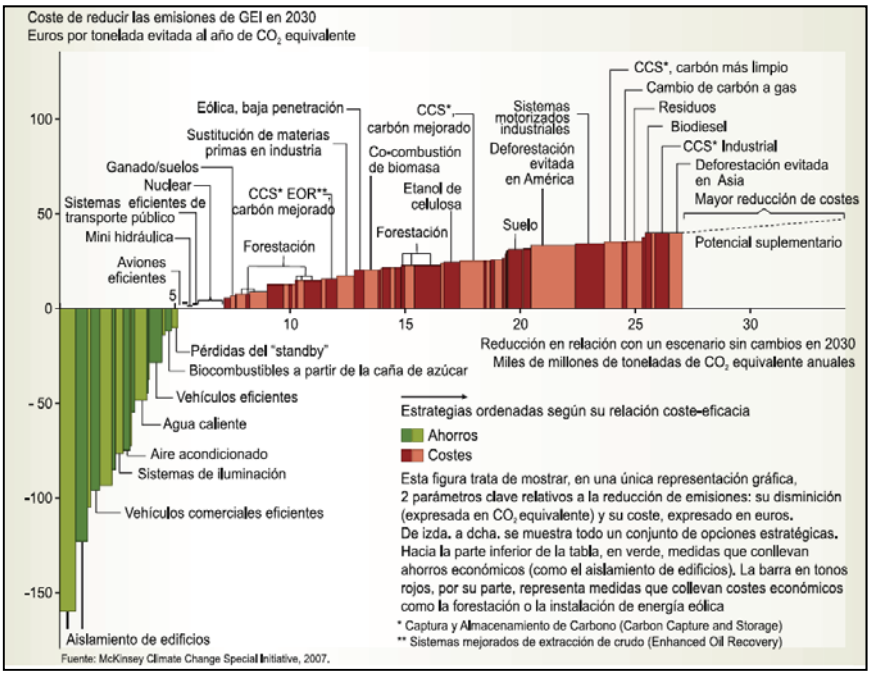


Ilustración 8: Costes comparados para la reducción de emisiones de GEI en 2030.[10]

[10] Fuente: Mckinsey Climate Change Special Initiative, 2007

4.1. Arquitectura Bioclimática y Eficiente Energéticamente

¿Qué es la arquitectura bioclimática?.

Cada vez más a menudo se oye esta definición, “arquitectura bioclimática”, sin embargo, si acudimos al diccionarios de la Real Academia de España, nos encontramos que no se contempla esta definición.

Según el diccionario de la Real Academia española, arquitectura, es una palabra cuyo origen está en el latín “architectūra”, y que referido a los edificios, se define como el “arte de proyectar y construir edificios”.

El propio diccionario de la Real Academia, hace una diferenciación entre arquitectura civil, hidráulica, militar, naval, religiosa, pero no se ha recogido como térmico específico “arquitectura bioclimática”.

Si ahora nos fijamos en la palabra “bioclimática”, y buscamos su definición en el diccionario de la Real Academia, no lo encontraremos, no es una palabra que esté contemplada, ahora bien, si descomponemos la palabra bioclimática, en dos palabras, “bio” y “climática”, sí que encontraremos la definición de estas dos palabras en el diccionario.

Así, la palabra “bio”, cuyo origen es el griego (βιο), significa “vida”. Y la palabra “climática”, es un adjetivo perteneciente o relativo al clima.

Pues bien, si nos fijamos en las tres palabras que forman la definición “arquitectura bio climática”, y queremos darle un significado según el diccionario de la Real Academia de España, se tendría lo siguiente:

“arte de proyectar o construir edificios para vivir, teniendo en cuenta las condiciones del clima”

La arquitectura bioclimática, **no es un invento reciente**. Antes incluso de que sobre la Tierra apareciera la arquitectura, ya imperaban los conceptos bioclimáticos.

La arquitectura bioclimática es aquella que se diseña teniendo en cuenta las condiciones ambientales del entorno, aprovechando al máximo las fuentes naturales de calor, luz o frescor minimizado sus pérdidas por medio de elementos tales como (i) la colocación sobre el terreno, (ii) la orientación o (iii) el aislamiento de sus muros.

Es aquella que aprovecha al máximo las fuentes naturales de calor, luz o frescura y minimiza sus pérdidas por medio de elementos tales como la colocación sobre el terreno, la orientación, el aislamiento de sus muros o el aprovechamiento de fuentes energéticas gratuitas.

Construir un edificio nuevo siguiendo criterios bioclimáticos y eficientes, puede suponer un coste superior de inicio, pero a largo y medio plazo supone importantes ventajas económicas **al hacerse en gran medida innecesario el uso de sistemas de climatización con sus altas demandas energéticas** y económicas.

Por tanto, ¿cuáles serían los criterios a tener en cuenta a la hora de proyectar y construir un edificio teniendo en cuenta conceptos de arquitectura bioclimática?

Pues bien, según el común de los Autores, los criterios a estudiar y a tener en cuenta serían los siguientes: la disposición sobre el terreno, la ubicación, el tratamiento exterior del edificio, la forma del edificio, la orientación de la edificación, la captación de energía solar pasiva, el efecto invernadero, la protección contra la radiación en verano, la masa térmica, los sistemas de aislamiento, los sistemas de ventilación, el aprovechamiento climático del suelo, los espacios tapón, los sistemas evaporativos de refrigeración y los sistemas vegetales hídricos reguladores de la temperatura y de la humedad.

Y precisamente en un **"Atrio"**, se pueden identificar varios de estos criterios: **(i) captación de energía solar pasiva, (ii) mejora de los sistemas de ventilación y (iii) utilización de espacios tampón**.

En la actualidad, existe un problema actual, en relación al cambio climático, donde, el consumo energético en los edificios, contribuyen de forma negativa, y soluciones de tipo bioclimático y de alta eficiencia energética, **como un "Atrio"**, pueden mitigar ese cambio climático, al suponer una importante reducción en las emisiones de GEI y además a un coste económicamente muy rentable.

La incorporación de un "Atrio", en un edificio para trabajar integrado en el sistema de climatización del edificio es una solución viable técnica y económicamente hablando.

4.2. Eficiencia Energética en la Edificación

La Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios [17], define "eficiencia energética de un edificio", como:

"*..la cantidad de energía calculada o medida que se necesita para satisfacer la demanda de energía asociada a un uso normal del edificio, que incluirá, entre otras cosas, la energía consumida en la calefacción, la refrigeración, la ventilación, el calentamiento del agua y la iluminación…*"

Actualmente hablar de eficiencia energética en la edificación en España, es una cuestión habitual y cotidiana, la prensa, la televisión, las revistas especializadas, incluyen este tema. Sin embargo, sobre eficiencia energética no se habló hasta el año 1980, año, en el que se publicó el Real Decreto1680/1980, de 4 de julio, por el que se aprobó el reglamento de instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria con el fin de racionalizar su consumo energético.

Después de los años 80, y como consecuencia de la mayor concienciación ciudadana y de las Administraciones Públicas, así como las condiciones de abastecimiento energético de los países, en este caso, europeos, van apareciendo diversas normas, de ámbito, europeo, nacional e incluso local, cuyos objetivos son el establecimiento de una serie de condiciones que se deben tener en cuenta a la hora de proyectar, ejecutar y usar las instalaciones energéticas, tanto las que se refieren a calefacción, climatización y

ACS, como a las que consumen energía eléctrica, como son iluminación, ascensores, motores, etc.

En los años noventa se publican numerosas normas que **comienzan a centrar sus objetivos en el uso racional y eficiente de la energía** así como a potenciar el uso de las energías renovables.

En el año 2002, se publica la Directiva 2002/91/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios [18], marcando un gran punto de inflexión, en lo que a la eficiencia energética en los edificios se refiere.

Esta Directiva, propone una serie de medidas de gran importancia obligando a los países miembros de la Unión Europea a adaptar toda su legislación interna **con el objetivo de conseguir reducir el consumo de energía en la edificación** para intentar cumplir con los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kioto en lo que se refiere a la reducción de las emisiones de GEI, pero además, para intentar reducir la dependencia tan elevada que tenemos en el suministro de petróleo y gas natural.

En 2010, se publica una nueva Directiva, la Directiva 2010/31/UE, que **va a marcar la forma de trabaja, en principio, hasta el año 2020**, año para el que la Unión Europea, se ha fijado una serie de objetivos muy importantes conocidos como “20/20/20 en el 2020”.

Los objetivos del “20/20/20 en el 2020”, aprobados en la Resolución del 3 de febrero de 2009, estable que en el año 2020, **debemos haber reducido nuestro consumo en un 20%**, debemos haber reducido las emisiones de CO_2 en un 20% y la contribución de las energías renovables debería ser del 20%.

La Directiva 2010/31/UE, indica que **el 40 % del consumo total de energía en la Unión corresponde a los edificios**.

Este sector se encuentra en fase de expansión, lo que va a hacer aumentar el consumo de energía. Por ello, la reducción del consumo de energía, la mejora de la eficiencia energética a través del aprovechamiento de fuentes gratuitas, **como es un "Atrio"**, y el uso de energía procedente de fuentes renovables en el sector de la edificación constituyen una parte importante de las medidas necesarias para reducir la dependencia energética de la Unión y las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las medidas adoptadas para reducir el consumo de energía en la Unión permitirán, junto con un mayor uso de la energía procedente de fuentes renovables, que la Unión cumpla el Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), así como su compromiso a largo plazo de mantener el aumento de la temperatura global por debajo de 2 °C y su compromiso de reducir, para 2020, las emisiones totales de gases de efecto invernadero en un 20 % como mínimo con respecto a los niveles de 1990 y en un 30 % en el caso de lograrse un acuerdo internacional.

El Consejo Europeo de marzo de 2007 puso de relieve la necesidad de aumentar la eficiencia energética en la Unión para

alcanzar el objetivo de reducir su consumo energético en un 20 % para 2020, y abogó por una aplicación rápida y completa de las prioridades establecidas en la Comunicación de la Comisión.

Esta Comunicación, determinó el considerable potencial de ahorro energético rentable que posee el sector de los edificios.

Como ya se ha indicado anteriormente, en su Resolución de 31 de enero de 2008, el Parlamento Europeo abogó por un refuerzo de las disposiciones de la Directiva 2002/91/CE y se ha pronunciado en varias ocasiones, la última de ellas en su Resolución de 3 de febrero de 2009 sobre la segunda revisión estratégica del sector de la energía, a favor de que el objetivo del 20 % de eficiencia energética para 2020 sea vinculante.

Además, la Decisión 406/2009/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, sobre el esfuerzo de los Estados miembros para reducir sus emisiones de GEI a fin de cumplir los compromisos adquiridos por la Comunidad hasta 2020, establece **objetivos nacionales vinculantes de reducción de las emisiones de CO_2** , y la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables, aboga por el fomento de la eficiencia energética en el contexto de un objetivo vinculante para la energía procedente de fuentes renovables que represente el 20 % del consumo de energía total de la Unión para 2020.

El Consejo Europeo de marzo de 2007 reafirmó el compromiso de la Unión con el desarrollo, en toda la Unión, de la energía procedente de fuentes renovables al suscribir el objetivo vinculante del 20 % de

energía procedente de fuentes renovables para 2020. La Directiva 2009/28/CE establece un marco común para el fomento de la energía procedente de fuentes renovables.

Dice la Directiva 2010/31/UE, que es necesario instaurar acciones más concretas **con el fin de aprovechar el gran potencial de ahorro de energía aún sin realizar en los edificios** y reducir las grandes diferencias que existen entre Estados miembros en este sector.

Las medidas para mejorar más la eficiencia energética de los edificios deben **tener en cuenta las condiciones climáticas y las particularidades locales, así como el entorno ambiental interior y la rentabilidad en términos de coste - eficacia**.

En ella se incluyen **no solo las características térmicas**, sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como **las instalaciones de calefacción y aire acondicionado, la utilización de energía procedente de fuentes renovables, los elementos pasivos de calefacción y refrigeración, el sombreado, la calidad del aire interior, la adecuada iluminación natural y el diseño del edificio**.

Los edificios tienen una incidencia en el consumo de energía **a largo plazo**.

Dado el largo ciclo de renovación de los edificios existentes, los edificios nuevos y los edificios existentes que son objeto de reformas importantes **deben cumplir unos requisitos mínimos de eficiencia energética adaptados a las condiciones climáticas locales**.

Como en general no se aprovecha completamente el potencial que ofrece la utilización de fuentes de energía alternativas, debe considerarse el uso de tales fuentes en edificios nuevos y existentes, independientemente de su tamaño, de conformidad con el principio de asegurar en primer lugar una reducción de las necesidades de calefacción y refrigeración a unos niveles óptimos de rentabilidad.

Debe considerarse que las reformas importantes de los edificios existentes, independientemente de su tamaño, **ofrecen la oportunidad de tomar medidas rentables para aumentar su eficiencia energética**.

Se necesitan medidas que aumenten el número de edificios que no solo cumplan los requisitos mínimos de eficiencia energética actualmente vigentes, **sino que también sean más eficientes energéticamente al reducir tanto el consumo energético como las emisiones de dióxido de carbono.** A tal efecto los Estados miembros deben elaborar planes nacionales para aumentar el número de **edificios de consumo de energía casi nulo**. En este apartado, tienen mucha importancia el diseño y construcción de edificios bioclimáticos.

Es necesario asegurar que **a más tardar el 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos sean edificios de consumo de energía casi nulo**, y de que después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que estén ocupados y sean propiedad de autoridades públicas, sean edificios de consumo de energía casi nulo.

Este aspecto es de tal importancia, que la propia Directiva 2010/31, introduce la obligatoriedad a los Estados miembros de

elaborar planes nacionales destinados a aumentar el número de edificios de consumo de energía casi nulo.

Además, los Estados miembros, siguiendo el ejemplo encabezado por el sector público, debe formular políticas y adoptar medidas tales como el establecimiento de objetivos, para estimular la transformación de edificios que se reforman en edificios de consumo de energía casi nulo.

En definitiva, **se han impuesto una serie de obligaciones y requisitos** a las instalaciones técnicas energéticas de los edificios, tanto de nueva construcción, como de los edificios existentes, para que se puedan cumplir los objetivos marcados a 2020 y que se traducirán en que en el año 2020, se haya reducido en un 20% el consumo de energía de los Estados miembros de la Unión Europea, y que se hayan reducido las emisiones de CO_2 en un 20%.

Vista la necesidad de aportar soluciones al problema del exceso de consumo energético en los edificios, y los objetivos marcados para el futuro próximo indicados, analizando las posibles soluciones que se pueden aplicar más allá de la mejora en la tecnología de los equipos productores de calefacción y refrigeración, "**surge**, **la idea"** de aplicar como posibilidades, los criterios bioclimáticos en la arquitectura, intentado aprovechar las fuentes gratuitas de las que se dispone en los edificios.

En este sentido, **“aparece”** el **“Atrio”**, como una solución constructiva que permite vislumbrar un importante ahorro energético siempre que se diseñe para su conexión activa e integrada con los sistemas convencionales de climatización de los edificios.

En la antigüedad, el “Atrio” en un edificio, era un lugar “especial”, “emblemático”, “de reunión”, que traído a nuestros tiempos, además de seguir con esas connotaciones, surge como un “espacio exento”, “acumulador de aire”, que si se diseña “integrado activamente” con los sistemas de producción de calefacción y frío, **puede trabajar como un importante suministrador energético gratuito**.

Y precisamente, **este es el objetivo de esta investigación**, es decir, analizar el comportamiento del aire en un "Atrio" cuando se conecta de forma activa con los sistemas de climatización de los edificios, persiguiendo que a través de esta conexión, se aproveche de forma gratuita energía para climatizar, **pudiéndose ofrecer así, una alternativa para reducir el consumo energético en los edificios** y contribuir a que de esta forma los nuevos edificios puedan disponer de **soluciones relativamente sencillas** que les lleven a cumplir con las exigencias para poder calificarlos como edificios de consumo casi nulo.

Esta investigación, se ha llevado a cabo sobre “un Atrio” existente en un edificio real, de planta cuadrada, 120 m^2 y una altura de 15 metros, con tres fachadas exteriores, orientadas al norte, este y sur, conectado con el sistema de climatización a través de una rejilla en la parte superior, que a su vez, mediante un conducto aislado, se conecta al sistema de climatización del edificio como si de un productor más de energía se tratara.

En definitiva, se trata de ver cómo una forma constructiva del pasado, como es un “Atrio”, puede ser una solución moderna para reducir las emisiones de CO_2, al reducir el consumo energético,

contribuyendo así a mitigar el cambio climático, además de reducir costes económicos.

5.- ESTADO DEL ARTE

5. Estado del Arte

Después de mostrar el contexto general y particular sobre la situación energética, en especial del sector edificación, así como los efectos del cambio climático en los que contribuye, sin duda, el consumo energético de los edificios, los objetivos marcados por las autoridades y las distintas posibilidades que se ofrecen en la actualidad en base a la tecnología, en este apartado se va a indicar y resumir los diferentes estudios realizados por otros Autores relacionados con esta investigación.

Los trabajos consultados relacionados con los efectos favorables que puede tener un "Atrio" sobre el consumo energético de los edificios, son recientes.

Hay que tener en cuenta, que hasta los años 90, no se empieza a hablar de eficiencia energética, de cambio climático, de emisiones de CO_2.

Los combustibles que se utilizan para producir calefacción (gas natural, gasóleo) así como la energía eléctrica para producir refrigeración, han tenido un coste barato hasta la última década en la que ha ido aumentando paulatinamente el precio del petróleo, en este sentido, no se ha tenido la necesidad de buscar "alternativas" que permitan reducir el consumo energético de los edificios, pues el coste del mismo no era relevante.

Así mismo, es de destacar que hasta finales de 1997, no se adoptó el protocolo de Kioto, por lo que hasta entonces no se había tenido la necesidad de proponer soluciones o estudiar propuestas que permitieran a los edificios reducir su consumo energético y por ende las emisiones de CO_2.

Esta situación, **ha limitado** los estudios y artículos publicados, y que en concreto, sobre los aspectos energéticos de los "Atrios", se circunscriben a los últimos 7 años.

Los trabajos consultados son los que se indican a continuación, haciendo un breve resumen de los mismos destacando el objeto de los mismos y que, aunque no se refieren al objetivo de esta Tesis, -*determinar los efectos positivos de la integración y conexión de un Atrio al sistema de climatización trabajando activamente con el resto de equipos*-, sí que han servido de base, para corroborar algunos datos y resultados publicados, como son: (i) la estratificación de la temperatura en el aire de los Atrio, (ii) las ganancias térmicas en el aire del Atrio por efecto de la radiación solar, (iii) los cambios en el comportamiento del aire según la geometría del Atrio y, (iv) los efectos diferentes en épocas del año, estivales e invernales.

En este sentido el trabajo "Mathematical modeling and experimental study on vertical temperature distribution of hybrid ventilation in an atrium building" [9], propone **un modelo para predecir la distribución vertical de la temperatura** de la ventilación híbrida para grandes espacios de trabajo en edificios, donde se puede incluir un "Atrio".

Así, este estudio trata conjuntamente, la ventilación natural y la ventilación mecánica creando un modelo matemático para ver cómo los datos registrados reales se ajustan a los del modelo matemático teórico, sin evaluar los posibles beneficios que se pudieran tener.

Por su parte, el estudio sobre "The influence of the atrium geometry on the building energy performance" [10], trata sobre el **comportamiento térmico de diferentes formas y geometrías de los "Atrios"** en edificios en diversas condiciones.

Con este estudio se ha evaluado el impacto que tiene la forma geométrica de un "Atrio" sobre la carga térmica del edificio, para que se puedan diseñar "Atrios" que desde el punto de vista de las ganancias térmicas impliquen la mayor eficiencia energética.

El estudio centra en analizar cuatro formas geométricas, dos rectangulares y dos cuadradas, concluyendo que **el "Atrio" alargado estrecho o el "Atrio" rectangular con gran longitud con relación a la anchura provoca una mayor demanda energética**, tanto de calor como de frío, que el "Atrio" en forma de cuadrado.

El estudio muestra que la geometría del "Atrio" es un factor importante a tener en cuenta desde el punto de vista de la eficiencia energética, ya que, según este estudio, la forma del "Atrio" afecta al cálculo de las cargas de calefacción y refrigeración que determinan la eficiencia energética global del edificio.

No obstante esta investigación analiza los efectos de la geometría del "Atrio" sobre el cálculo de las cargas de calefacción y

refrigeración, **en sentido negativo**, a diferencia de la investigación plasmada en esta Tesis, **que demuestra los efectos positivos**, siempre que se conecte de forma activa con el sistema de climatización del edificio.

Otro de los estudios consultados es el relativo a "Analytical model of atrium for heating and ventilating an institutional building naturally" [11].

Este estudio indica que **la incorporación de un "Atrio" en un edificio no conduce automáticamente a un ahorro de energía**. El consumo de energía en un edificio puede verse aumentado si se compara con un edificio en forma similar sin un "Atrio".

Ahora bien, esta afirmación, se centra en que es debido a la mayor necesidad de iluminación artificial y ventilación mecánica. Dice este estudio que en la práctica, rara vez un "Atrio" es incorporado para que su propósito principal sea el ahorro de energía.

La investigación publicada, presenta la relación entre el aprovechamiento pasivo de calor y el efecto sobre la ventilación en función de las dimensiones de un "Atrio", ahora bien, es de destacar que este trabajo se ha llevado a cabo de forma teórica, pues los datos y resultados se han obtenido de un edificio ficticio.

El estudio publicado, manifiesta, que no es posible diseñar un edificio con un "Atrio", cuyo volumen pueda suministrar al 100% la demanda térmica del mismo.

Aún a pesar de tratarse de un modelo teórico, este trabajo, concluye, que **un "Atrio" puede disminuir la carga de calefacción para un edificio institucional** hasta un máximo de un 25%, afirmación, ésta, que no se considera del todo cierta, pues los aportes gratuitos al sistema de calefacción, según se demuestra en mi investigación, depende del volumen de aire contenido en el "Atrio".

El artículo, "Numerical investigations of buoyancy-driven natural ventilation in a simple three-storey atrium building and thermal comfort evaluation" [12], **analiza los efectos favorables sobre el confort térmico en un edificio que cuenta con un "Atrio"**, adoptando una estrategia de ventilación pasiva.

Analiza mediante resultados numéricos el confort térmico conocidos los índices PMV (voto Medio predicho) y PPD (porcentaje predicho de insatisfechos). Se indica que las paredes de un "Atrio", durante la noche y las fuentes de calor presente en el edificio pueden ser útiles en la inducción de corrientes de aire de ventilación por la noche como parte de llevar a cabo una estrategia de ventilación pasiva. Se ha creado un modelo teórico, que puede predecir la altura y la temperatura de las capas de aire caliente en cada piso y en el espacio del atrio.

En el estudio titulado "Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using computational fluid dynamics and reduced-scale air model" [13], **se desarrolla una metodología para predecir el rendimiento del movimiento del aire** en la ventilación de edificios con un "Atrio" durante la fase de diseño utilizando las dinámicas de fluidos computacional (CFD) y pruebas de modelos a escala.

Se centra en el estudio de los efectos de diferentes parámetros como la temperatura exterior, o interior, la presión, la altura, las dimensiones de las rejillas de entrada de aire al atrio, etc, en el movimiento del aire en el atrio.

Es especialmente interesante la conclusión a la que se llega sobre que la posición de las aberturas del atrio, que generan caminos de ventilación directa, pueden ser útiles para mejorar el ambiente térmico interior. Así como que el tamaño de las aberturas también afectará a la distribución de la temperatura en el espacio del "Atrio", indicando que sin embargo, cuando la temperatura ambiente exterior es superior a 35°C, la eficiencia de las aberturas del atrio es limitado.

Otro estudio consultado ha sido "Study on simulation methods of atrium building cooling load in hot and humid regions" [16], este estudio se ha centrado en que **la estimación de la carga de refrigeración de edificios con "Atrio" es difícil debido a los fenómenos térmicos complejos que ocurren en el espacio del "Atrio"**. El estudio tiene como objetivo conocer un método simplificado para la estimación de las cargas de refrigeración a través de simulaciones para diversos tipos de "Atrios" tanto en regiones cálidas como húmedas.

En todo caso, el estudio no trata de analizar los efectos positivos que tiene la existencia del "Atrio" respecto de la demanda del edificio, sino que, sólo, se centra en cómo sería posible evaluar y determinar los efectos sobre la demanda total del edificio así como el efecto de la estratificación de la temperatura debida a la altura.

Por su parte, el artículo sobre "CFD modelling of natural displacement ventilation in an enclosure connected to an atrium" [14], **analiza los movimientos del aire en un "Atrio"** de un edificio proponiendo la utilización de la dinámica de fluidos. En todo caso, muestra como varia la temperatura en base a distintos parámetros, entre los que destaca, la altura y las temperaturas.

El estudio sobre "Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings" [19], **compara la eficiencia energética de un "Atrio" central con la eficiencia energética de un patio** con las mismas proporciones geométricas.

El "Atrio" y el diseño del patio utilizado para el análisis son de planta cuadrada y rodeada por el edificio en los cuatro lados. Se concluye que en general, el edificio con patio abierto exhibe un mejor rendimiento energético que los edificios más cortos.

Cuando la altura del edificio aumenta, el atrio cerrado exhibe un mejor rendimiento energético.

En definitiva, aunque se han llevado a cabo estudios relacionados con los efectos que un "Atrio" construido en un edificio puede tener sobre los aspectos térmicos, básicamente se han centrado en determinar cómo se estratifica la temperatura, como afecta al confort interior, así como la modelización del movimiento del aire a través de técnicas de análisis dinámico de fluidos, **sin cuantificar los efectos favorables que pueden tener al integrarlo de forma activa en el sistema de climatización de los edificios**.

6.- MÉTODO

6. Método

6.1. Formulación teórica del ahorro energético que genera un "Atrio"

Para determinar las demandas térmicas de calor y frío en los edificios, es necesario calcular las cargas debidas a la transmisión a través de los elementos que conforman la envolvente térmica y las cargas debidas a la ventilación necesaria de los espacios ocupados.

Por ello, para determinar las cargas por transmisión en cada espacio habitado, se precisa calcular los coeficientes de transmisión de cada elemento que conforma la envolvente térmica.

En cada espacio de un edificio, a efectos de determinar las cargas térmicas y de frío, es necesario evaluar los siguientes parámetros:

a) Identificación del recinto
b) Ubicación del recinto dentro del edificio
c) Temperatura interior de cálculo
d) Temperatura exterior de cálculo
e) Temperatura Húmeda
f) Humedad relativa interior
g) Transmitancia de los elementos que conforman el espacio térmico.
h) Calor sensible
i) Calor latente
j) Tipo de actividad
k) Número de personas que pueden ocupar el espacio
l) Ratio de calor sensible y calor latente por persona

m) Tipo de iluminación
n) Potencia instalada
o) Coeficiente de iluminancia
p) Otras posibles cargas así como cargas debidas a las propias instalaciones
q) Factor de calor sensible
r) Suma de cargas internas totales debidas a la transmisión
s) Caudal de aire de ventilación necesario
t) Carga total debida a la ventilación
u) Potencia total térmica de cada recinto

A partir de esta información, se puede calcular la carga total teórica de calefacción y la carga total teórica de refrigeración.

En un edificio, el consumo energético, para cubrir la demanda de calefacción y la demanda de refrigeración, depende de la energía necesaria para cubrir la carga por transmisión **(ET (kW-h))** y para cubrir la carga por ventilación **(EV (kW-h))**.

Por su parte, la energía necesaria para cubrir la **demanda de ventilación (EV (kW-h))** depende (i) del volumen de aire necesario para ventilar el edificio, el cual, a su vez, es función del tipo de edificio y del uso del mismo **(V_{ven} (m^3/h))**, así como (ii) de las características del aire a impulsar, esto es, del calor específico **(c_p (J/kg^{o}C))** y de la densidad **(ρ_{aire}(kg/m^3))**, (iii) de la temperatura del aire a impulsar **(T_{imp}(^{o}C))** y (iv) de la temperatura del aire exterior **(T_{ext}(^{o}C))**.

Esto es, la energía necesaria para cubrir la demanda por ventilación se expresaría así:

$$\boldsymbol{EV\ (kW-h) = \frac{C_p * \rho_{aire} * V_{ven} * (T_{imp} - T_{ext})}{3,6 * 10^6}}$$

Por otra parte, la energía para cubrir la **demanda por transmisión (ET (kW-h))** de un edificio depende de las características térmicas de la envolvente del edificio, la cual, a su vez dependen (i) de la superficie de los muros verticales en contacto con el exterior **($S_{i\ muros\ verticales}(m^2)$)**, (ii) de la superficie de los suelos y forjados **($S_{i\ suelos\ y\ forjados}(m^2)$)**, (iii) de la superficie de cubiertas y azoteas en contacto con el exterior **($S_{i\ cubiertas\ y\ azoteas}(m^2)$)**, (iv) de la superficie de huecos y lucernarios **($S_{i\ huecos\ y\ lucernarios}(m^2)$)** y (v) de la superficie de los puentes térmicos **($S_{i\ puentes\ térmicos}(m^2)$)**.

Así mismo, cada una de las superficies indicadas, cuentan con una característica, denominada transmitancia **($U_i(W/m^{2o}C)$)**, la cual depende de los materiales con los que están construidas y que es la característica que genera la resistencia a las pérdidas por transmisión.

A su vez, la energía necesaria para cubrir la demanda por transmisión, es función del salto térmico existente entre la temperatura exterior **($T_{ext}(^oC)$)** y la temperatura interior de confort **($T_{int}(^oC)$)**.

En consecuencia, **la energía necesaria por transmisión (ET (kW-h)),** vendrá dada por la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{ET} = \frac{\mathrm{me + sl + cu + hl + pt}}{1.000} * (T_{int} - T_{ext})$$

Donde:

$$me = \sum_{1}^{n} (S_{i\ muros\ verticales} * U_{i\ muros\ verticales})$$

$$sl = \sum_{1}^{n} (S_{i\ suelos\ y\ forjados} * U_{i\ suelos\ y\ forjados})$$

$$cu = \sum_{1}^{n} (S_{i\ cubiertas\ y\ azoteas} * U_{i\ cubiertas\ y\ azoteas})$$

$$hl = \sum_{1}^{n} (S_{i\ huecos\ y\ lucernarios} * U_{i\ huecos\ y\ lucernarios})$$

$$pt = \sum_{1}^{n} (S_{i\ puentes\ térmicos} * U_{i\ puentes\ térmicos})$$

El sistema de climatización, de un edificio de tipo terciario, suele tener un sistema de free-cooling, esto es, recirculación de aire de ventilación del retorno para aprovechamiento gratuito.

Precisamente, la energía necesaria, descontando los aportes gratuitos por efecto del free-cooling, dependen (i) del volumen de ventilación necesaria en el edificio **(V_{ven} (m^3/h))**, (ii) del porcentaje de aire a renovar procedente del exterior, descontando el aire de retorno **(P_{Atrio}(%))**, (iii) del ratio de aire de ventilación respecto de la superficie a acondicionar **($R_{vent-sup.acondicionada}$(adimensional)**, (iv) de la superficie acondicionada **(S (m^2))**, (v) de las temperaturas del aire de impulsión **(T_{imp} (ºC))** y del aire de retorno (T_{ret}(ºC)) y (vi) de las características del aire a impulsar, esto es calor específico **(c_p (J/kgºC))** y densidad **(ρ_{aire}(kg/m^3))**.

De esta forma, la energía necesaria **(L (kW-h))** descontando los aportes gratuitos por efecto del free-cooling vendría dada por la siguiente expresión:

$$\boldsymbol{L} = \frac{V_{ven} * \mathrm{P_{atrio}}}{\mathrm{S} * \mathrm{R_{vent-sup.acondicionada}}} * \frac{\mathrm{C_p} * \rho_{aire} * V_{ven} * \left(T_{imp} - T_{\mathrm{ret}}\right)}{3{,}6 * 10^6}$$

Por otra parte, para un edificio que incorpore un "Atrio" conectado al sistema de HVAC de forma activa, la energía necesaria por ventilación descontando los aportes gratuitos del mismo, dependerá (i) del volumen de aire de ventilación total del edificio **(V_{ven} (m^3/h))**, (ii) del porcentaje de aire que se incorpore desde el "Atrio" **(P_{atrio}(%))**, (iii) de las características del aire a impulsar, esto es calor específico **(c_p (J/kg^{o}C))** y densidad **(ρ_{aire}(kg/m^3))** y (iv) de las temperaturas del aire de impulsión **(T_{imp} (^{o}C))** y del aire procedente del Atrio a la entrada al sistema de climatización **(T_{ent}(^{o}C))**, en definitiva, la energía necesaria por ventilación **(K (kW-h))** descontando los aportes gratuitos del "Atrio", se expresaría de la siguiente forma:

$$\boldsymbol{K} = \frac{P_{Atrio} * C_p * \rho_{aire} * V_{ven} * \left(T_{imp} - T_{ent}\right)}{3{,}6 * 10^6}$$

De acuerdo con lo indicado anteriormente, teniendo en cuenta que en un edificio al que se le incorpora un "Atrio", es necesario aportar aire directamente desde el exterior en un porcentaje **(M(%))** por higienización, **se estima de forma teórica**, que el efecto que tiene la incorporación de un "Atrio" en un edificio, cuando se conecta de forma activa al sistema HVAC sobre la reducción de la demanda energética, vendría dado por la energía aprovechada gratuitamente procedente del "Atrio" respecto de la

energía total consumida en el edificio debida a la transmisión más la ventilación.

En este sentido, la energía gratuita aprovechada del "Atrio", para un sistema HVAC que cuenta con free-cooling, sería la diferencia entre dos térmicos. El **primer término** sería, la resultante de restar la energía total necesaria para ventilación menos la suma entre la energía necesaria descontando los aportes gratuitos del "Atrio" más la energía necesaria para compensar la diferencia de temperatura del aire exterior aportado por necesidades de higienización y más la energía gastada al descontar el aporte gratuito del free-cooling, es decir:

$$\boldsymbol{EV - (K + (M * EV) + L)}$$

El **segundo término** sería la resultante de restar al término anterior, el ahorro energético debido al free-cooling, esto es:

$$\boldsymbol{\left[EV - (K + (M * EV) + L) - \left[[EV - (K + M * EV + L)] * \frac{L}{K + M * EV + L}\right]\right]}$$

En consecuencia, la f**ormulación teórica del ahorro energético que genera un "Atrio" (AE (%))** en tanto por ciento, sería de la forma siguiente:

$$\boldsymbol{AE = \frac{[EV - (K + (M * EV) + L)] - \left[EV - (K + (M * EV) + L) - \left[[EV - (K + M * EV + L)] * \frac{L}{K + M * EV + L}\right]\right]}{EV + ET} * 100}$$

Ilustración 9: Formulación teórica del Ahorro Energético

Donde:

AE = Ahorro Energético sobre el consumo de energía para calefacción del edificio (%).

EV = Energía total necesaria para calefacción por ventilación (kW-h).

K= Energía necesaria para calefacción por ventilación descontando los aportes gratuitos del Atrio (kW-h).

M = Porcentaje de aire exterior expresado en tanto por uno (%)

L = Energía necesaria para calefacción descontando los aportes gratuitos por efecto de free-cooling (kW-h).

ET = Energía tota necesaria para calefacción por transmisión (kW-h)

Variable	Descripción	Unidad	Variable	Descripción	Unidad
EV	Energía total necesaria para calefacción por ventilación	kW-h	T_{imp}	Temperatura del aire de impulsión sistema de clima	ºC
V_{ven}	Volumen total de aire de ventilación	m^3/h	T_{ext}	Temperatura del aire exterior	ºC
K	Energía necesaria para calefacción por ventilación descontando los aportes gratuitos del Atrio	kW-h	T_{ent}	Temperatura del aire de entrada al sistema de clima	ºC
P_{atrio}	Porcentaje de aire desde Atrio	%	T_{ret}	Temperatura del aire de retorno del sistema de	ºC

				clima	
L	Energía necesaria para calefacción por ventilación descontando los aportes gratuitos del Free-coopling	kW-h	**U**	Transmitancia	W/m^{2o}C
$R_{vent-sup.acondicionada}$	Ratio aire de ventilación respecto de la superficie acondicionada	adimensional	**C_p**	Calor específico del aire (J/kgºC)	J/kgºC
S	Superficie acondicionada	m^2	**ρ_{aire}**	Densidad del aire	kg/m^3
me	Pérdidas por transmisión muros verticales	kW-h	**ET**	Energía total necesaria para calefacción por transmisión	kW-h
cu	Pérdidas por transmisión cubiertas y azoteas	kW-h	**hl**	Pérdidas por transmisión huecos y lucernarios	kW-h
sl	Pérdidas por transmisión suelos y forjados	kW-h	**pt**	Pérdidas por transmisión puentes térmicos	kW-h
M	Porcentaje de aire exterior expresado en tanto por uno	%			

Ilustración 10: Lista de variables formulación teórica del Ahorro Energético por efecto de la incorporación de un "Atrio" en un edificio.

6.2. Descripción del edificio y del Atrio

La expresión teórica, obtenida anteriormente, **tratará de ser validada en esta investigación**, con objeto de que pueda ser utilizada para determinar el ahorro energético que genera un "Atrio" al conectarlo de forma activa e integrada con el sistema convencional de climatización en un edificio.

En este sentido, cabe destacar que la investigación se ha llevado a cabo utilizando como "banco de pruebas", un **edificio real**, habiéndose monitorizado y analizado numerosas variables relacionadas con la demanda térmica del edificio, registrándose datos durante un año, en intervalos de una hora, durante 5 días a la semana, 52 semanas al año, **en total, 6.240 horas**.

Inicialmente se ha analizado y estudiado el sistema de climatización del edificio, tanto desde el punto de vista de la producción de calor como de la producción de frío así como de la distribución de calor y frío, determinándose la demanda del mismo en función de las características constructivas de la envolvente térmica así como de las necesidades reglamentarias de ventilación.

El edificio que se ha utilizado como "banco de pruebas", es un edificio de uso administrativo, con una superficie climatizada de 1.854,5 m^2, compuesto por 6 plantas, una bajo rasante y el resto sobre rasante.

El edificio se ha simplificado en cuanto a su distribución interior, de manera que se pueden distinguir, tres zonas claramente diferencias, así, en cada planta, se han dividido los espacios en: (i)

zona de oficinas (acondicionada), (ii) zona de vestíbulos-baños (acondicionada) y (iii) zonas no acondicionadas.

Esta simplificación ha generado **13 conjuntos térmicos,** que son los que se han estudiado durante las 6.240 horas.

El edificio cuenta con una zona denominada cámara, con orientación sur, por la que circula aire, que se acondiciona en función de la radiación solar existente en cada momento y que puede ser utilizada también como aporte primario en la ventilación.

Además está la zona denominada "Atrio" que sirve para conseguir que el aire de entrada primario, para ventilación no sea directamente aire exterior de la calle, sino que, sea aire que previamente y de forma gratuita se acondiciona, tanto en verano como en invierno por su permanencia en el “Atrio”.

El “Atrio”, estudiado, es una zona exenta, de 1.800 m^3 de aire, y una altura libre de 15 metros.

Realizados los cálculos teniendo en cuenta las exigencias reglamentarias para el edificio estudiado, el caudal necesario de ventilación se cifra en 6.000 m^3, por lo que el ratio de cobertura del aire del “Atrio” sobre el aire de ventilación es del 30%.

El “Atrio” está construido con orientación norte, este y sur. El muro norte, es un muro de alta inercia térmica, formado por 6 capas de materiales cuya transmitancia es **U=0,55 W/m^{2}K**.

Transmittance North Wall

	Exterior	Exterior Surface	Exterior Slate	Air	Mortar	Ceramic Block	Mortar	Interior Slate	Interior Surface	Interior	
R_{se}	0,04	T_{se}	T_1	T_2	T_3	T_4	T_5	T_6	T_{si}	0,13	Rsi
T_e	**11,00**	11,17	11,24	15,02	15,08	17,97	18,04	18,09	**18,64**	**18,64**	T_i
			Q_1	Q_2	Q_3	Q_4	Q_5	Q_6	Total heat		
Heat via conduction	W/m^2	207,63	0,07	187,81	0,09	3,72	39,99	**439,31**	W/m^2		

North facade

ATRIO

Thickness	(cm)	4	7	2	29	2	3
λ	(W/mK)	2,2	0,078	1,3	0,421	1,3	2,2
Resistance	(m^{2}K/W)	0,0182	0,9	0,0154	0,6888	0,0154	0,0136

R_T=	**1,82**	(m^{2}K/W)	U_T=	**0,55**	(W/m^{2}K)

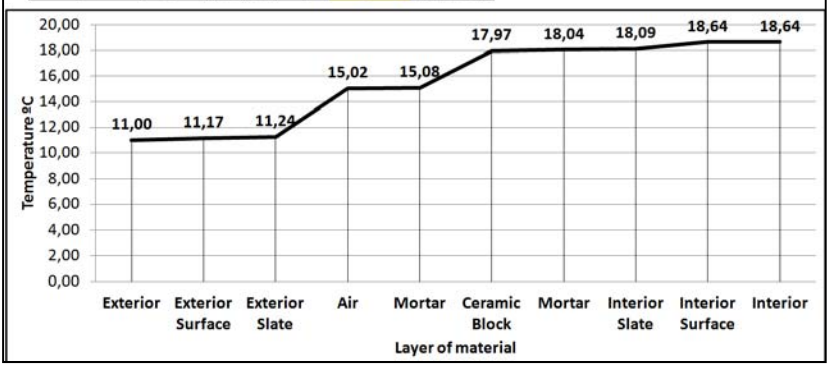


Ilustración 11: Transmitancia muro norte

Esta transmitancia calculada de forma teórica, se ha monitorizado a través de un termoflujometro, verificándose este valor.

Hora	W/m²K	[°C] Tw	[°C] Ti	%Hr	°C
8:46:04	0,601	21,2	22,3	68,9	8,1
9:01:04	0,599	21,1	22,3	67,9	8,0
9:16:04	0,610	21,1	22,2	67,0	8,2
9:31:04	0,608	21,1	22,2	68,3	8,1
9:46:04	0,600	21,0	22,1	68,4	8,1
10:01:04	0,602	21,0	22,1	68,0	8,1
10:16:04	0,591	20,9	22,0	68,3	8,0
10:31:04	0,577	20,9	22,0	69,6	7,9
10:46:04	0,570	20,9	21,9	69,1	7,9
11:01:04	0,570	20,8	21,9	68,1	7,9
11:16:04	0,554	20,8	21,8	67,6	8,0
11:31:04	0,567	20,8	21,8	68,0	8,0
11:46:04	0,550	20,8	21,7	70,0	7,8
12:01:04	0,563	20,7	21,7	70,3	7,8
12:16:04	0,565	20,6	21,7	69,8	7,8
12:31:04	0,569	20,6	21,6	69,8	7,6
12:46:04	0,556	20,6	21,6	71,7	7,5
13:01:04	0,562	20,5	21,6	75,4	7,1
13:16:04	0,545	20,5	21,6	77,5	6,9
13:31:04	0,533	20,5	21,5	76,3	6,8
13:46:04	0,552	20,5	21,5	73,3	7,0
14:01:04	0,551	20,4	21,4	72,6	7,2
14:16:04	0,556	20,4	21,4	71,2	7,3
14:31:04	0,542	20,4	21,4	75,5	6,9
14:46:04	0,554	20,3	21,4	74,7	6,9
15:01:04	0,552	20,3	21,3	71,6	7,1
15:16:04	0,560	20,3	21,3	70,5	7,0
15:31:04	0,576	20,2	21,3	70,5	7,1
15:46:04	0,548	20,2	21,3	72,0	6,9
16:01:04	0,549	20,2	21,2	71,6	6,9
16:16:04	0,543	20,2	21,2	70,0	7,0
16:31:04	0,556	20,2	21,2	66,6	7,3
16:46:04	0,568	20,1	21,2	66,5	7,3
17:01:04	0,560	20,1	21,1	67,2	7,3
17:16:04	0,559	20,1	21,1	67,6	7,3
17:31:04	0,564	20,1	21,1	67,5	7,4
17:46:04	0,567	20,1	21,1	66,9	7,4
18:01:04	0,562	20,0	21,0	67,3	7,3
18:16:04	0,563	20,0	21,0	66,9	7,3
18:31:04	0,564	20,0	21,0	68,4	7,3

Hora	W/m²K	[°C] Tw	[°C] Ti	%Hr	°C
18:46:04	0,580	20,0	21,0	67,5	7,4
19:01:04	0,566	20,1	21,1	68,7	7,2
19:16:04	0,621	20,2	21,4	69,2	7,0
19:31:04	0,618	20,4	21,6	68,5	7,2
19:46:04	0,631	20,6	21,8	67,8	7,2
20:01:04	0,613	20,8	22,0	64,3	7,5
20:16:04	0,605	21,0	22,1	63,9	7,5
20:31:04	0,575	21,1	22,3	64,6	7,4
20:46:04	0,565	21,2	22,3	65,1	7,5
21:01:04	0,554	21,3	22,4	66,2	7,5
21:16:04	0,525	21,3	22,4	74,4	7,0
21:31:04	0,504	21,3	22,4	81,3	6,6
21:46:04	0,518	21,3	22,4	82,7	6,5
22:01:04	0,515	21,3	22,4	85,0	6,7
22:16:04	0,521	21,4	22,4	84,8	7,2
22:31:04	0,525	21,4	22,4	83,1	7,1
22:46:04	0,551	21,4	22,5	87,4	7,3
23:01:04	0,581	21,4	22,5	80,2	8,1
23:16:04	0,589	21,4	22,5	79,8	8,3
23:31:04	0,596	21,4	22,5	82,1	8,5
23:46:04	0,574	21,4	22,5	99,9	7,7
0:01:04	0,566	21,4	22,5	95,4	7,5

Hora	W/m²K	[°C] Tw	[°C] Ti	%Hr	°C
22:46:04	1,228	22,5	24,8	46,3	10,0
23:01:04	0,664	22,1	23,3	46,8	9,9
23:16:04	0,556	21,9	22,9	48,3	9,8
23:31:04	0,592	21,8	22,7	45,6	10,7
23:46:04	----	21,8	22,8	45,9	----
0:01:04	0,698	21,7	22,7	45,1	12,0
0:16:04	----	21,7	22,6	43,0	----
0:31:04	0,720	21,7	22,6	34,5	12,3
0:46:04	0,701	21,7	22,6	34,3	12,2
1:01:04	0,683	21,6	22,6	----	11,9
1:16:04	0,696	21,6	22,6	32,8	12,1
1:31:04	----	21,5	22,5	----	----
1:46:04	0,775	21,4	22,4	33,9	12,7
2:01:04	----	21,5	22,6	----	----
2:16:04	0,773	21,5	22,4	30,3	12,6
2:31:04	0,823	21,4	22,4	30,4	13,3
2:46:04	0,946	21,5	22,5	28,8	14,0
3:01:04	0,901	21,5	22,4	28,3	14,0
3:16:04	0,764	21,4	22,3	30,9	13,5
3:31:04	0,735	21,3	22,1	31,5	14,0
3:46:04	0,746	21,2	22,0	31,5	14,0
4:01:04	0,831	21,2	22,0	32,8	14,1
4:16:04	0,847	21,2	22,2	32,7	13,5
4:31:04	0,725	21,2	22,1	34,7	12,4
4:46:04	0,714	21,1	22,1	37,0	12,2
5:01:04	0,639	21,1	22,0	46,0	11,0

Ilustración 12: Monitorización transmitancia muro norte Atrio mediante termoflujómetro

Por lo que se refiere a la fachada este, ésta, es una fachada formada por dos tipos de muros, el 40% por un muro idéntico al muro norte y el resto por un muro cortina de vidrio formado por dos capas una interior y otra exterior separada por una cámara de aire ventilada de 1,00 metro de ancho.

Ilustración 13: Atrio. Fachadas norte, este y sur

Esta forma de construcción, **genera un espacio ("Atrio")**, **para acumular aire a modo de "pulmón"** del edificio, donde la fachada norte tiene una alta inercia térmica y un aislamiento reforzado y donde la fachada sur es un gran captador de energía solar, convirtiendo al "Atrio" en un elemento fundamental del sistema de climatización al conectarlo directamente con el sistema de producción de calor y frío del edificio.

El Sistema de climatización cuenta con **tres posibles entradas de aire primario.**

Dos de ellas se encuentran en el "Atrio", en este sentido, se comunica en la parte inferior mediante una rejilla de 2 metros cuadrados con el lado norte para poder utilizar el aire de esta zona

según establezca el autómata que controla el funcionamiento del sistema de climatización, y otra rejilla en la parte alta del atrio, de 1 metro cuadrado de superficie, conectada a su vez con la cámara de aire sur que recibe la radiación solar y actúa como un captador solar pasivo, **de manera que, para calefacción, gracias al efecto de la estratificación del aire y de la radiación solar directa sobre la fachada sur permite aprovechar de forma gratuita una importante cantidad de energía**.

Existe otra entrada directa de aire desde el exterior sin pasar por el "Atrio", de forma que cuando el sistema de control detecta que las condiciones térmicas del aire del "Atrio" no son las más favorables, las desecha y toma el aire de ventilación directamente desde el exterior, básicamente en momentos en punta de refrigeración.

En la siguiente ilustración se representa esquemáticamente la integración del "Atrio" con el sistema de climatización.

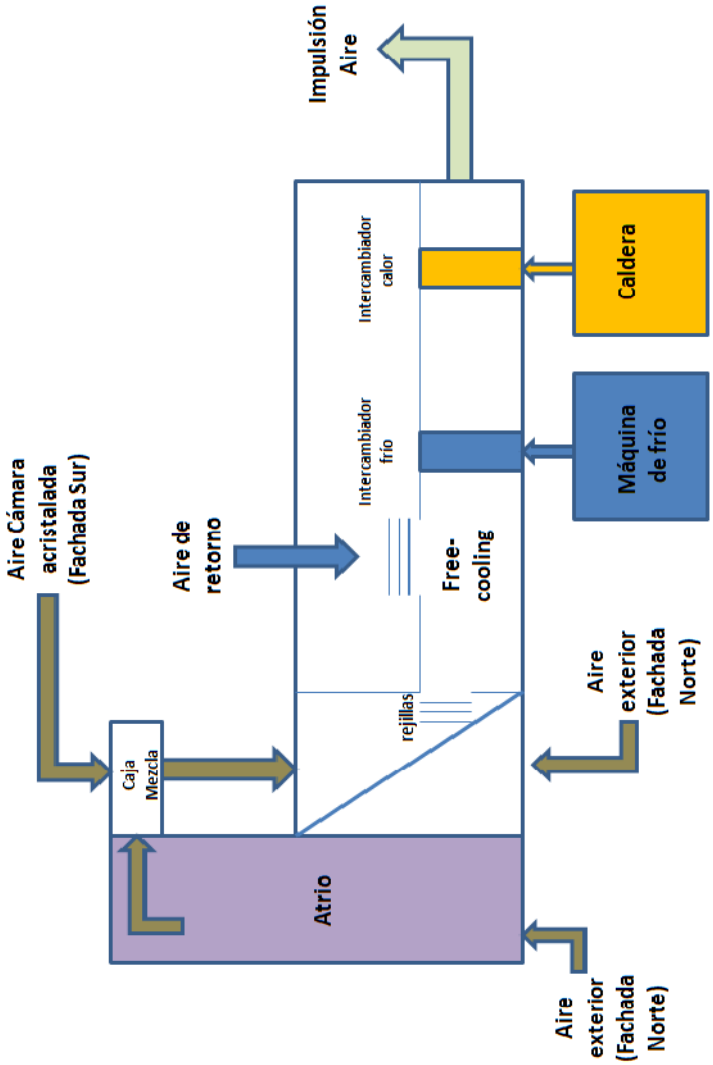


Ilustración 14: Esquema integración del Atrio al sistema de HVAC

Esta disposición y estas posibilidades de toma de aire primario para ventilación del edificio, **permite programar estrategias de utilización, en función de las mejores condiciones de temperatura y humedad del aire** con objeto de que sean las más cercanas a las de consigna en cada hora del día, provocando que el sistema en su conjunto sea lo más eficiente posible, lo que implica, sin duda, un importante ahorro energético.

Ilustración 15: Rejilla fachada norte y rejilla fachada sur

Para humectar el aire del "Atrio" y para oxigenarlo, éste, cuenta con una vegetación tropical y una fuente permanente de agua, que en este caso particular, también sirve como elemento de disipación de calor de un sistema de captación activo de energía solar mediante paneles de placa plana.

6.3. Monitorización

Con objeto de validar la formulación teórica del ahorro energético que puede generar el "Atrio" cuando funcionan integrado con el sistema de climatización, se ha llevado a cabo el registro de la monitorización de los parámetros que se indican a continuación. El registro se ha realizado durante 52 semanas (1 año completo) 24 horas al día 5 días a la semana (laborables)

Se han registrado en total, 112.320 datos (18 parámetros por 6.240 horas**)**. Los parámetros registrados han sido los siguientes:

parámetro	unidad	parámetro	unidad
Tª interior cámara sur	ºC	Consumo real de energía eléctrica	kWh
Tª inferior Atrio	ºC	Rendimiento sistema de generación de	%
Tª superior Atrio	ºC	Demanda de calefacción	kWh/m^2
Tª exterior	ºC	Demanda de Refrigeración	kWh/m^2
Tª impulsión sistema de	ºC	Superficie acondicionada	m^2
Tª aire de retorno	ºC	Ratio de entrada de aire desde Atrio	%
Tª entrada de aire mezcla Atrio-Free	ºC	Ratio volumen de aire de ventilación	%
Consumo real gas natural	kWh	Apertura compuerta aire exterior	%
Rendimiento sistema de generación	%		

Ilustración 16: Parámetros monitorizados

En la ilustración siguiente se esquematiza la monitorización del sistema HVAC con el "Atrio" integrado de forma activa. La imagen muestra un momento en el que se puede observar como las baterías de calefacción y refrigeración alimentadas con energía eléctrica y gas natural se encuentran cerradas, es decir con un consumo nulo, y el edificio se está climatizando con aire procedente del "Atrio" a una temperatura de 22,3ºC.

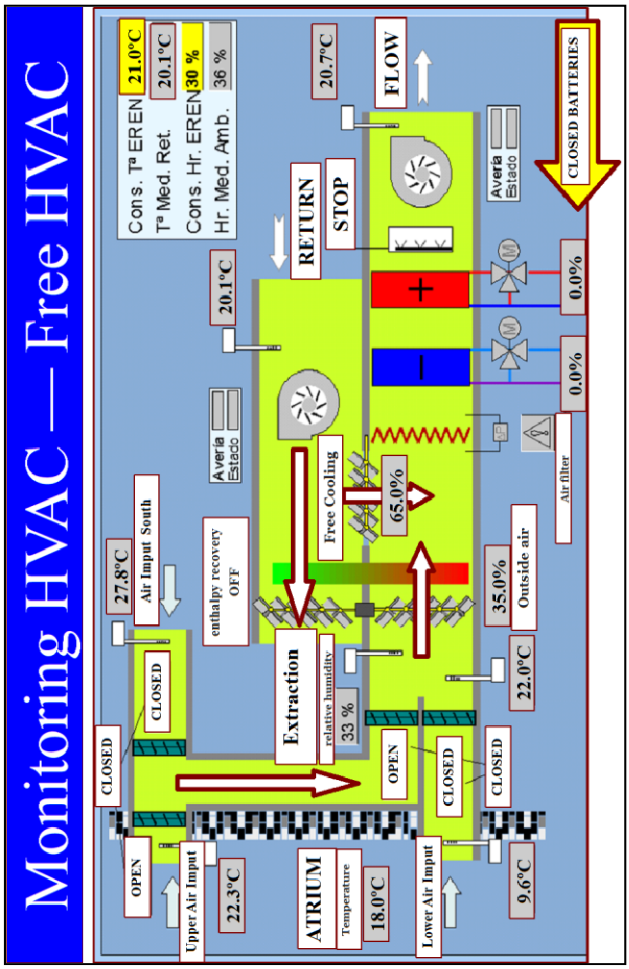


Ilustración 17: Monitorización Atrio y Climatización

A su vez y para comprobar los efectos de estratificación del aire en el "Atrio", se han realizado y monitorizado a diferentes alturas mediciones relativas a las temperaturas durante diferentes días a lo largo de un año.

SIMULACION GANANCIAS DE CALOR EN EL ATRIO POR EFECTO DE LA RADIACÓN SOLAR											
Día	05/11/2012	Calor por convención	Calor por radiación	emitancia vidrio	0,88	10	=L(m)				
Hora	14:30	c= hcf ·A·(Tpf-T	Qr=4·Emi·EstBol·T^3·A·(TI-T2)	Constante Stefan-Boltzman	5,67E-08	15	=hcf	entre 5 y 25 W/m^2K			
	norte						$T_{rejilla}$	sur			
		Muro norte interior		$T_{ambiente}$	Muro acristalado Sur		29,50				
	T-Norte	Calor por convención (W)	Calor por radiación (W)	22,00	Calor por radiación (W)	Calor por convención (W)	T-Sur				10,23
	18,90						27,40			H7	
		342,00	-0,01		512,90	972,00					1,2
											9,03
	19,07						27,70			H6	
		372,00	-0,01	Tmedia Norte	533,98	1026,00					1,2
				18,64							7,83
	19,20						28,67			H5	
Texterior		396,00	-0,01	Tmedia Sur	602,70	1200,00		T camara			1,2
11,00				27,89				30,00			6,63
	19,53						28,40			H4	
		456,00	0,00		583,62	1152,00					1,2
											5,43
	19,43						27,90			H3	
		438,00	0,00		548,09	1062,00					1,2
											4,23
	17,50						27,90			H2	
		187,50	-0,05		1141,86	2212,50					2,5
											1,73
	16,83			$T_{ambiente}$			27,27			H1	
		-43,25	-0,04	17,00	725,99	1366,70	=Qc(W)	17,3	=A(m2)		1,73
m2	W/m2	2.148,25	- 0,12		4.649,12	8.991,20	W/m2	m2			
102,3	21,00	2.148,13			13.640,32		133,34	102,3			

Ilustración 18: Estratificación Tª aire Atrio

En la gráfica siguiente se aprecia como a medida que se aumenta la altura, la temperatura se eleva, en consonancia con los resultados obtenidos por algunos de los Autores consultados.

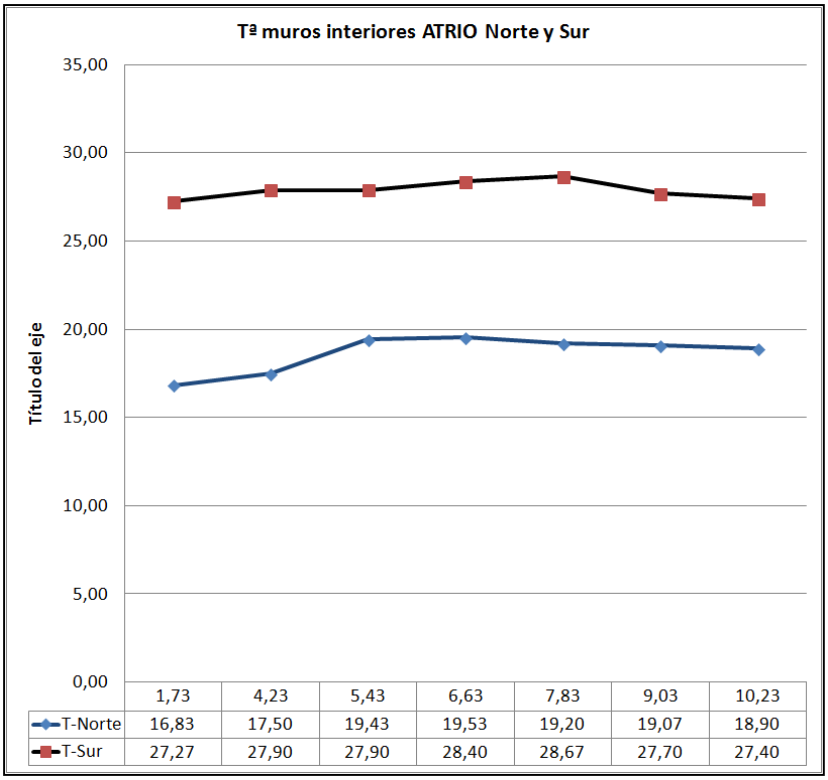


Ilustración 19: Temperaturas interiores muro norte y sur Atrio

6.4. Demandas de Calor y de refrigeración

Como ya se ha indicado anteriormente, uno de los trabajos realizados en esta investigación para poder calcular los posibles ahorros energéticos generados por el "Atrio" ha sido el cálculo de las demandas de calor y refrigeración del edificio estudiado, para ello se ha simulado en Software especializado (programa CYPE), todas las condiciones constructivas y uso del edificio y se ha tenido en cuenta el consumo real que se ha producido tanto en combustible como en energía eléctrica, para calefacción y para refrigeración respetivamente.

Después de llevar a cabo la simulación y el análisis del consumo real facturado, **se ha obtenido una demanda de calefacción de 106 kW-h/m^2 y una demanda de refrigeración de 12,81 kW-h/m^2**.

A efectos del cálculo de las cargas térmicas de refrigeración y de calefacción los parámetros generales considerados han sido los siguientes:

- Término municipal: León
- Latitud (grados): 42.6 grados
- Altitud sobre el nivel del mar: 838 m
- Percentil para verano: 5.0 %
- Temperatura seca verano: 21.33 °C
- Temperatura húmeda verano: 18.60 °C
- Oscilación media diaria: 8.5 °C
- Oscilación media anual: 27.2 °C
- Percentil para invierno: 97.5 %
- Temperatura seca en invierno: -2.80 °C
- Humedad relativa en invierno: 90 %
- Velocidad del viento: 0 m/s

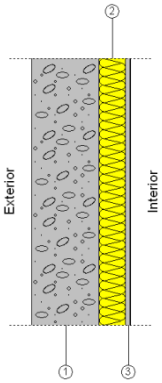
- Temperatura del terreno: 5.00 °C
- Porcentaje de mayoración por la orientación N: 20 %
- Porcentaje de mayoración por la orientación S: 0 %
- Porcentaje de mayoración por la orientación E: 10 %
- Porcentaje de mayoración por la orientación O: 10 %
- Suplemento de intermitencia para calefacción: 5 %
- Porcentaje de cargas debido a la propia instalación: 3 %
- Porcentaje de mayoración de cargas (Invierno): 0 %
- Porcentaje de mayoración de cargas (Verano): 0 %

En relación a los materiales que forman los distintos elementos de la envolvente térmica (fachadas verticales, forjados horizontales, cubiertas, y huecos de fachada) se recogen a continuación, expresándose así mismo, los valores de las **transmitancias (U) de cada elemento constructivo** y que se han tenido en cuenta a la hora de establecer las cargas térmicas por transmisión en el edificio estudiado.

a) Cerramientos exteriores.

Fachadas

TABIQUE ESTE-SUR-OESTE

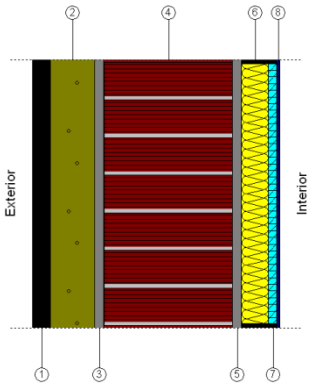


Listado de capas:

1 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
2 -	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	6 cm
3 -	REVOCO TABIQUE SOTANO	1 cm
Espesor total:		22 cm

Limitación de demanda energética **U_m: 0.43 W/m²K**

FACHADA NORTE



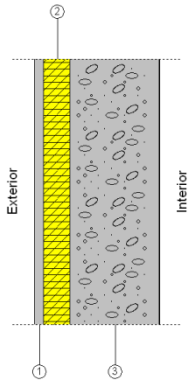
Listado de capas:

1 -	Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	4 cm
2 -	CÁMARA DE AIRE VENTILADA	10 cm
3 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
4 -	BC con mortero convencional espesor 290 mm	29 cm
5 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
6 -	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] (B)	6 cm
7 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 (B)	2 cm
8 -	Capa resistencia al vapor	0.5 cm
Espesor total:		55.5 cm

Limitación de demanda energética **U_m: 0.31 W/m²K**

b) Muros bajo rasante

MURO DE SOTANO HORMIGON



Listado de capas:

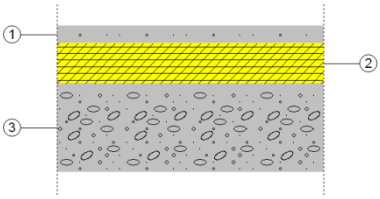
1 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
2 -	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	6 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	20 cm
Espesor total:		28 cm

Limitación de demanda energética **U_t: 0.31 W/m²K**

(Para una profundidad de -3.0 m)

c) Suelos

SOLERA (AP)



Listado de capas:

1 -	Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]	4 cm
2 -	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	9 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	20 cm
Espesor total:		33 cm

Limitación de demanda energética **U_s: 0.24 W/m²K**

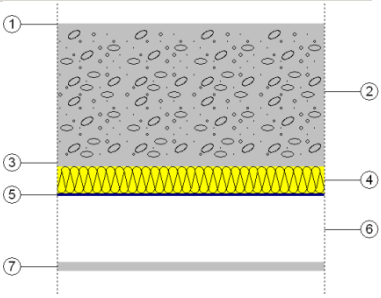
d) Cubiertas

Listado de capas:

1 -	Acero	0.3 cm
2 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		2.3 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 3.45 W/m²K**
U_c calefacción: 4.54 W/m²K

TECHO BAÑOS - TECHO INSTALACIONES (FORJADO AISLADO) Superficie total 31.07 m²

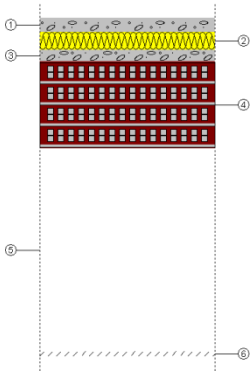


Listado de capas:

1 -	Acero	0.3 cm
2 -	FU Entrevigado cerámico - Canto 300 mm	30 cm
3 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
4 -	PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable a gases [0.025 W/[mK]]	6 cm
5 -	Capa resistencia al vapor	0.5 cm
6 -	Cámara de aire sin ventilar	15 cm
7 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		55.8 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.30 W/m²K**
U_c calefacción: 0.31 W/m²K

TECHO OFICINAS - AZOTEA

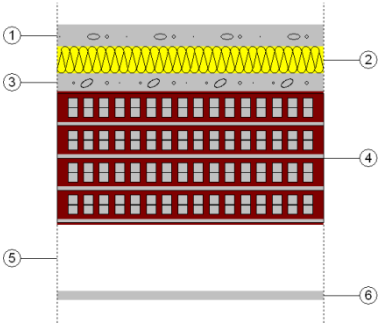


Listado de capas:

1 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	5 cm
2 -	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	6 cm
3 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	4 cm
4 -	FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30 cm
5 -	Cámara de aire sin ventilar	70 cm
6 -	PLACA PERFORADA OFICINAS	1.5 cm
Espesor total:		116.5 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.32 W/m²K**
U_c calefacción: 0.33 W/m²K

TECHO BAÑOS - AZOTEA

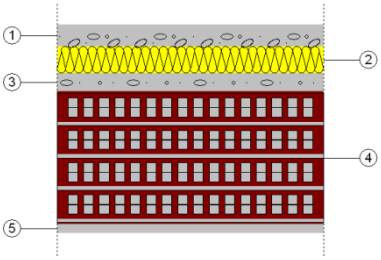


Listado de capas:

1 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	5 cm
2 -	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	6 cm
3 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	4 cm
4 -	FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30 cm
5 -	Cámara de aire sin ventilar	15 cm
6 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		62 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.31 W/m²K**
U_c calefacción: 0.32 W/m²K

TECHO SOTANO - AZOTEA — Superficie total 4.70 m²



Listado de capas:

1 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	5 cm
2 -	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	6 cm
3 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	4 cm
4 -	FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30 cm
5 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		47 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.33 W/m²K**
U_c calefacción: 0.34 W/m²K

e) Tejados

Cubierta — Superficie total 48.02 m²

Listado de capas:

1 -	Acero	0.3 cm
2 -	XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	8 cm
3 -	Acero	0.3 cm
Espesor total:		8.6 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.29 W/m²K**
U_c calefacción: 0.30 W/m²K

f) Huecos verticales

Ventanas									
Acristalamiento	M_M	U_{Marco}	FM	Pa	C_M	U_{Hueco}	F_S	F_H	R_w (C;C_{tr})
VENTANA ESTE-SUR-OESTE (x23)						**5.70**	1.00	0.80	31(0;-2)
VENTANAS NORTE (x39)	Madera	**2.00**	0.28	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.72**	1.00	0.40	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x6)	Madera	**2.00**	0.39	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.61**	1.00	0.35	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x4)	Madera	**2.00**	0.40	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.60**	1.00	0.35	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x9)	Madera	**2.00**	0.37	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.63**	1.00	0.36	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.36	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.64**	1.00	0.36	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**3.05**	1.00	0.52	30(-1;-4)
VENTANA ESTE-SUR-OESTE						**5.70**	1.00	0.80	34(0;-2)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.40	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.60**	1.00	0.34	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x2)	Madera	**2.00**	0.24	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.76**	1.00	0.42	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x3)	Madera	**2.00**	0.26	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.74**	1.00	0.41	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x5)	Madera	**2.00**	0.29	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.71**	1.00	0.40	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE (x2)	Madera	**2.00**	0.38	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.62**	1.00	0.36	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.38	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.62**	1.00	0.35	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.41	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.59**	1.00	0.34	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.25	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.75**	1.00	0.42	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.58	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.42**	1.00	0.26	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.17	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.83**	1.00	0.45	33(-1;-4)
VENTANAS NORTE	Madera	**2.00**	0.08	Clase 2	Oscuro (0.80)	**2.92**	1.00	0.49	30(-1;-4)
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE (x18)	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	1.00	0.60	33(-1;-4)

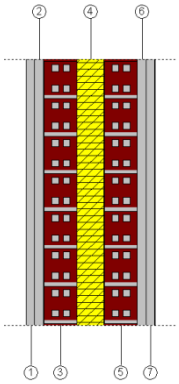
Abreviaturas utilizadas			
M_M	*Material del marco*	U_{Hueco}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*
U_{Marco}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*	F_S	*Factor de sombra*
FM	*Fracción de marco*	F_H	*Factor solar modificado*
Pa	*Permeabilidad al aire de la carpintería*	R_w (C;C_{tr})	*Valores de aislamiento acústico (dB)*
C_M	*Color del marco (absortividad)*		

Puertas		
Tipo	EI_2 t-C5	U_{Puerta}
PUERTA GARAJE	90	2.00
PUERTA ENTRADA (x2)		2.50
PUERTA CRISTAL SOTANO		2.50

Puertas			
Tipo		EI_2 t-C5	U_{Puerta}
Abreviaturas utilizadas			
EI_2 t-C5	*Resistencia al fuego en minutos*	R_w (C;C_{tr})	*Valores de aislamiento acústico (dB)*
U_{Puerta}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*		

h) Particiones verticales

TABIQUE SENCILLO



Listado de capas:

1 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 — 2 cm

2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 — 2 cm

3 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] — 7.5 cm

4 - EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]] — 6 cm

5 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] — 7.5 cm

6 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 — 2 cm

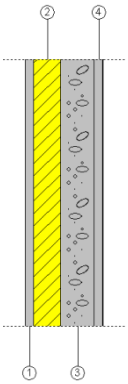
7 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 — 2 cm

Espesor total: 29 cm

Limitación de demanda energética **U_m: 0.35 W/m²K**

TB FACHADA SUR ACRISTALADO

TABIQUE SIN AISLAMIENTO SOTANO



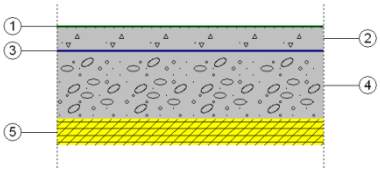
Listado de capas:

1 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
2 -	EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	6 cm
3 -	Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	7.5 cm
4 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2 cm
Espesor total:		17.5 cm

Limitación de demanda energética **U_m: 0.39 W/m²K**

i) Forjados entre pisos

FORJADO ENTRE PSIOS - S.M50..L Superficie total 134.27 m²

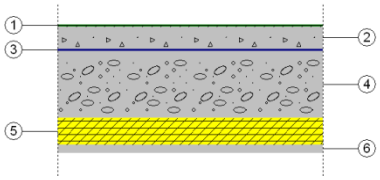


Listado de capas:

1 -	Linóleo	0.5 cm
2 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	5 cm
3 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
4 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
5 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
Espesor total:		27 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.40 W/m²K**
U_c calefacción: 0.38 W/m²K

TECHO SOTANO - FORJADO ENTRE PSIOS - S.M50..L

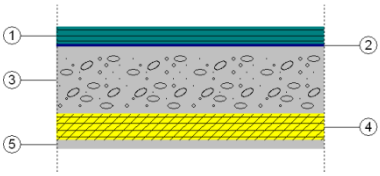


Listado de capas:

1 -	Linóleo	0.5 cm
2 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	5 cm
3 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
4 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
5 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
6 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		29 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.39 W/m²K**
U_c calefacción: 0.37 W/m²K

TECHO SOTANO - FORJADO ENTRE PSIOS - MC

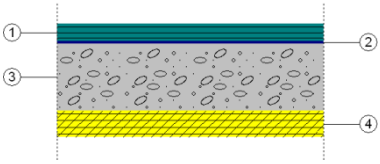


Listado de capas:

1 -	Plaqueta o baldosa cerámica	4 cm
2 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
4 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
5 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		27.5 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.39 W/m²K**
U_c calefacción: 0.37 W/m²K

FORJADO ENTRE PSIOS - MC

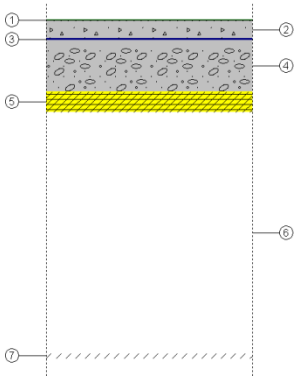


Listado de capas:

1 -	Plaqueta o baldosa cerámica	4 cm
2 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
4 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
Espesor total:		25.5 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.40 W/m²K**
U_c calefacción: 0.38 W/m²K

TECHO OFICINAS - FORJADO ENTRE PISO - S.M50..L

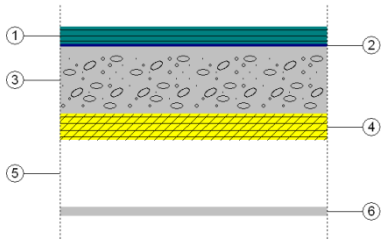


Listado de capas:

1 -	Linóleo	0.5 cm
2 -	Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	5 cm
3 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
4 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
5 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
6 -	Cámara de aire sin ventilar	70 cm
7 -	PLACA PERFORADA OFICINAS	1.5 cm
Espesor total:		98.5 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.37 W/m²K**
U_c calefacción: 0.35 W/m²K

TECHO BAÑOS - FORJADO ENTRE PISO - MC



Listado de capas:

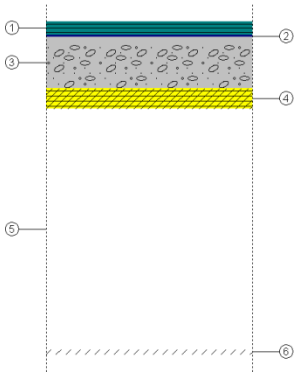
1 -	Plaqueta o baldosa cerámica	4 cm
2 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
4 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
5 -	Cámara de aire sin ventilar	15 cm
6 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		42.5 cm

Limitación de demanda energética

U_c refrigeración: 0.37 W/m²K

U_c calefacción: 0.35 W/m²K

TECHO OFICINAS - FORJADO ENTRE PISO - MC



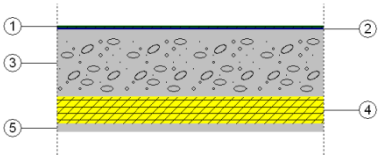
Listado de capas:

1 -	Plaqueta o baldosa cerámica	4 cm
2 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
4 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
5 -	Cámara de aire sin ventilar	70 cm
6 -	PLACA PERFORADA OFICINAS	1.5 cm
Espesor total:		97 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.37 W/m²K**

U_c calefacción: 0.35 W/m²K

TECHO SOTANO - FORJADO ENTRE PISO - PVC



Listado de capas:

1 -	Cloruro de polivinilo [PVC]	0.5 cm
2 -	Capa de resistencia al vapor	0.5 cm
3 -	Hormigón armado 2300 < d < 2500	15 cm
4 -	PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6 cm
5 -	Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2 cm
Espesor total:		24 cm

Limitación de demanda energética **U_c refrigeración: 0.39 W/m²K**

U_c calefacción: 0.37 W/m²K

j) Huecos verticales interiores

Ventanas							
Acristalamiento	M_M	U_{Marco}	FM	Pa	C_M	U_{Hueco}	R_w ($C;C_{tr}$)
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE (x27)	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	30(-1;-4)
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE (x16)	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	33(-1;-4)
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE (x7)	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	32(-1;-4)
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE (x3)	Metálico	**5.70**	0.02	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	31(-1;-4)
VENTANA NORTE ATRIO (x2)	Metálico	**4.00**	0.05	Clase 2	Intermedio (0.60)	**2.86**	31(-1;-4)
VENTANA ESTE-SUR-OESTE (x3)				Clase 2		**5.70**	34(0;-2)
VENTANA ESTE-SUR-OESTE (x2)				Clase 2		**5.70**	31(0;-2)

Abreviaturas utilizadas

M_M	*Material del marco*	C_M	*Color del marco (absortividad)*
U_{Marco}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*	U_{Hueco}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*
FM	*Fracción de marco*	R_w ($C;C_{tr}$)	*Valores de aislamiento acústico (dB)*
Pa	*Permeabilidad al aire de la carpintería*		

Puertas		
Tipo	EI_2 t-C5	U_{Puerta}
PUERTA CORTAFUEGOS CIEGA (x9)	60	5.70
PUERTA GARAJE	90	2.00
PUERTA ENTRADA (x3)		2.50
PUERTA CRISTAL SOTANO (x8)		2.50

Abreviaturas utilizadas			
EI_2 t-C5	*Resistencia al fuego en minutos*	R_w ($C;C_{tr}$)	*Valores de aislamiento acústico (dB)*
U_{Puerta}	*Coeficiente de transmisión (W/m²K)*		

Las características básicas de los materiales que se han tenido en cuenta son las siguientes:

Capas						
Material	e	□	□	RT	Cp	□
Acero	0.3	7800	50	6e-005	450	1000000
BC con mortero convencional espesor 290 mm	29	1080	0.421	0.689	1000	10
Capa de resistencia al vapor	0.5	1000	0.174	0.0287	1000	1000000
Capa resistencia al vapor	0.5	1000	0.174	0.0287	1000	1000000
Cloruro de polivinilo [PVC]	0.5	1390	0.17	0.0294	900	50000
CÁMARA DE AIRE VENTILADA	10	0.1	1.05	0.095	100	1
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	6	30	0.029	2.07	1000	20
EPS Poliestireno Expandido [0.029 W/[mK]]	9	30	0.029	3.1	1000	20
Esquisto Pizarra [2000 < d < 2800]	4	2400	2.2	0.0182	1000	800
FU Entrevigado cerámico -Canto 300 mm	30	1110	0.846	0.355	1000	10
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30	1240	1.42	0.211	1000	80
Hormigón armado 2300 < d < 2500	5	2400	2.3	0.0217	1000	80
Hormigón armado 2300 < d < 2500	15	2400	2.3	0.0652	1000	80
Hormigón armado 2300 < d < 2500	20	2400	2.3	0.087	1000	80
Linóleo	0.5	1200	0.17	0.0294	1400	800
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2	1125	0.55	0.0364	1000	10
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	4	1125	0.55	0.0727	1000	10
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1800 < d < 2000	5	1900	1.3	0.0385	1000	10
Mortero de áridos ligeros [vermiculita perlita]	4	900	0.41	0.0976	1000	10
Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	2	825	0.25	0.08	1000	4
PLACA PERFORADA OFICINAS	1.5	1000	0.5	0.03	1000	1
Plaqueta o baldosa cerámica	4	2000	1	0.04	800	30
PUR Plancha con HFC o Pentano y rev. impermeable a gases [0.025 W/[mK]]	6	45	0.025	2.4	1000	1000000
PUR Proyección con Hidrofluorcarbono HFC [0.028 W/[mK]]	6	45	0.028	2.14	1000	60
REVOCO TABIQUE SOTANO	1	1500	0.5	0.02	1000	10000
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	7.5	930	0.432	0.174	1000	10
XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	6	37.5	0.025	2.4	1000	100
XPS Expandido con hidrofluorcarbonos HFC [0.025 W/[mK]]	8	37.5	0.025	3.2	1000	100

Capas						
Material	e	□	□	RT	Cp	□
Abreviaturas utilizadas						
e *Espesor (cm)*			RT *Resistencia térmica (m²K/W)*			
□ *Densidad (kg/m³)*			Cp *Calor específico (J/kgK)*			
□ *Conductividad (W/mK)*			□ *Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua*			

Vidrios		
Material	U_{Vidrio}	$g_{\square}$
VENTANA ESTE-SUR-OESTE	5.70	0.80
VENTANAS NORTE	3.00	0.53
VENTANA INTERIOR ESTE-SUR-ESTE	2.80	0.61
VENTANA NORTE ATRIO	2.80	0.72
Abreviaturas utilizadas		
U_{Vidrio} *Coeficiente de transmisión (W/m²K)*	$g_{\square}$ *Factor solar*	

Marcos	
Material	U_{Marco}
Madera	2.00
Metálico	5.70
Metálico	4.00
Abreviaturas utilizadas	
U_{Marco} *Coeficiente de transmisión (W/m²K)*	

Los puentes térmicos considerados son los indicados a continuación:

Puentes térmicos lineales		
Nombre	□	F_{Rsi}
Fachada en esquina vertical saliente	0.07	0.85
Fachada en esquina vertical entrante	-0.16	0.92
Contacto entre el terreno y muro bajo rasante	0.14	0.76
Encuentro de fachada con cubierta	0.29	0.85
Unión de solera con pared exterior	0.14	0.76
Forjado entre pisos	0.03	0.91
Encuentro saliente de fachada con suelo exterior	0.25	0.85
Ventana en fachada	0.18	0.74
Ventana en fachada	0.20	0.76

Puentes térmicos lineales		
Nombre	□	F_{Rsi}
Ventana en fachada	1.00	1.00

Abreviaturas utilizadas			
□	*Transmitancia lineal (W/mK)*	F_{Rsi}	*Factor de temperatura de la superficie interior*

6.5. Cargas de Refrigeración y Calefacción

Teniendo en cuenta los parámetros y datos anteriores, las cargas calculadas, tanto de calefacción como de refrigeración, para cada uno de los 13 conjuntos térmicos considerados, son las siguientes:

a) Refrigeración

Conjunto: 1												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Aula sotano	Sótano	-249.11	2014.22	2984.49	1818.07	2788.34	1316.15	-1605.67	215.34	34.23	212.40	3003.67
S8	Sótano	-340.86	1171.35	1819.70	855.40	1503.75	3452.25	-4211.65	564.82	32.36	-3356.25	2068.57
BAJA 1	Planta Baja	-978.97	3345.44	3765.01	2437.46	2857.03	497.47	-537.85	78.51	13.28	1899.61	2935.54
VESTIBULO BAJA	Planta Baja	-182.00	196.63	314.51	15.06	132.94	557.35	-602.58	87.96	21.40	-587.52	220.90
Total							**5823.2**					
Carga total simultánea												**8218.6**

Conjunto: Planta Baja - Vestibulo Baja 2												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestibulo Baja 2	Planta Baja	-148.70	855.61	1327.13	728.11	1199.64	2530.78	-3087.48	414.06	34.43	-2359.37	1613.70
Total							**2530.8**					
Carga total simultánea												**1613.7**

Conjunto: Planta Baja - Vestibulo de entrada												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestibulo de entrada	Planta Baja	-139.93	293.91	470.73	158.59	335.41	803.58	-980.35	131.47	31.37	-821.75	466.89
Total							**803.6**					
Carga total simultánea												**466.9**

Conjunto: Planta Primera - Oficinas Planta 1

Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Oficinas Planta 1	Planta Primera	-753.04	3346.30	3765.87	2671.05	3090.63	497.62	-538.01	78.53	14.33	2133.04	3169.17
Total							**497.6**					
Carga total simultánea												**3169.2**

Conjunto: Planta Primera - Vestíbulo ascensores P 2												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestíbulo ascensores P 2	Planta Primera	-446.78	1068.11	1657.52	639.97	1229.38	3155.94	-3850.16	516.34	29.87	-3210.19	1745.72
Total							**3155.9**					
Carga total simultánea												**1745.7**

Conjunto: Planta Segunda - Oficinas P 2												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Oficinas P 2	Planta Segunda	-754.72	3350.76	3770.34	2673.92	3093.50	498.42	-538.87	78.66	14.32	2135.05	3172.16
Total							**498.4**					
Carga total simultánea												**3172.2**

Conjunto: Planta Segunda - Vestíbulo ascensores P 2												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestíbulo ascensores P 2	Planta Segunda	-431.79	1069.32	1658.72	656.65	1246.05	3162.44	-3858.09	517.41	30.11	-3201.44	1763.46
Total							**3162.4**					
Carga total simultánea												**1763.5**

Conjunto: Planta Tercera - Oficinas Atrio P3												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Oficinas Atrio P3	Planta Tercera	-485.13	1304.58	1479.41	844.03	1018.86	191.40	-206.93	30.21	12.33	637.10	1049.06
Total							**191.4**					
Carga total simultánea												**1049.1**

Conjunto: Planta Tercera - Oficinas P3/P4												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Oficinas P3/P4	Planta Tercera	-753.51	3350.76	3770.34	2675.17	3094.75	498.42	-538.87	78.66	14.33	2136.30	3173.41
Total							**498.4**					
Carga total simultánea												**3173.4**

Conjunto: Planta Tercera - Vestíbulo Ascensor P 3/P 4												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestíbulo Ascensor P 3/P 4	Planta Tercera	-322.25	1070.18	1659.58	770.36	1359.77	3167.09	-3863.76	518.17	32.02	-3093.40	1877.93
Total							**3167.1**					
Carga total simultánea												**1877.9**

Conjunto: Planta Cuarta - Dirección P4												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Dirección P4	Planta Cuarta	-210.48	1341.83	1516.65	1165.29	1340.11	191.40	-246.23	-13.39	15.60	919.05	1326.72
Total							**191.4**					
Carga total simultánea												**1326.7**

Conjunto: Planta Cuarta - Oficinas P4												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Oficinas P4	Planta Cuarta	-934.86	3357.36	3776.93	2495.17	2914.75	499.59	-540.14	78.84	13.48	1955.03	2993.59
Total							**499.6**					
Carga total simultánea												**2993.6**

Conjunto: Planta Cuarta - Vestíbulo ascensor P4												
Recinto	Planta	Subtotales			Carga interna		Ventilación			Potencia térmica		
		Estructural (kcal/h)	Sensible interior (kcal/h)	Total interior (kcal/h)	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)	Caudal (m³/h)	Sensible (kcal/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Sensible (kcal/h)	Total (kcal/h)
Vestíbulo ascensor P4	Planta Cuarta	-390.36	1071.11	1660.51	701.17	1290.58	3172.11	-3869.89	518.99	30.80	-3168.72	1809.57
Total							**3172.1**					
Carga total simultánea												**1809.6**

b) Calefacción

Conjunto: 1						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Aula sótano	Sótano	1370.86	1316.15	7246.83	98.21	8617.69
S8	Sótano	1657.24	3452.25	19008.33	323.25	20665.57
BAJA 1	Planta Baja	4968.96	497.47	2739.11	34.86	7708.07
VESTIBULO BAJA	Planta Baja	882.52	557.35	3068.78	382.83	3951.31
Total			**5823.2**			
Carga total simultánea						**40942.6**

Conjunto: Planta Baja - Vestíbulo Baja 2						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Vestíbulo Baja 2	Planta Baja	831.33	2530.78	13934.66	315.07	14765.99
Total			**2530.8**			
Carga total simultánea						**14766.0**

Conjunto: Planta Baja - Vestíbulo de entrada						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Vestíbulo de entrada	Planta Baja	545.97	803.58	4424.57	334.02	4970.54
Total			**803.6**			
Carga total simultánea						**4970.5**

Conjunto: Planta Primera - Oficinas Planta 1						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Oficinas Planta 1	Planta Primera	5296.34	497.62	2739.96	36.34	8036.30
Total			**497.6**			
Carga total simultánea						**8036.3**

Conjunto: Planta Primera - Vestíbulo ascensores P 2						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Vestíbulo ascensores P 2	Planta Primera	2256.07	3155.94	17376.84	335.93	19632.90
Total			**3155.9**			
Carga total simultánea						**19632.9**

Conjunto: Planta Segunda - Oficinas P 2						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Oficinas P 2	Planta Segunda	5317.82	498.42	2744.33	36.39	8062.14
Total			**498.4**			
Carga total simultánea						**8062.1**

Conjunto: Planta Segunda - Vestíbulo ascensores P 2						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Vestíbulo ascensores P 2	Planta Segunda	2172.90	3162.44	17412.62	334.43	19585.53
Total			**3162.4**			
Carga total simultánea						**19585.5**

Conjunto: Planta Tercera - Oficinas Atrio P3						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Oficinas Atrio P3	Planta Tercera	2481.94	191.40	1053.86	41.57	3535.80
Total			**191.4**			
Carga total simultánea						**3535.8**

Conjunto: Planta Tercera - Oficinas P3/P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Oficinas P3/P4	Planta Tercera	5365.98	498.42	2744.33	36.61	8110.31

Conjunto: Planta Tercera - Oficinas P3/P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Total			**498.4**			
Carga total simultánea						**8110.3**

Conjunto: Planta Tercera - Vestíbulo Ascensor P 3/P 4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Vestíbulo Ascensor P 3/P 4	Planta Tercera	1932.55	3167.09	17438.20	330.28	19370.75
Total			**3167.1**			
Carga total simultánea						**19370.8**

Conjunto: Planta Cuarta - Dirección P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Dirección P4	Planta Cuarta	3274.24	191.40	1053.86	50.88	4328.10
Total			**191.4**			
Carga total simultánea						**4328.1**

Conjunto: Planta Cuarta - Oficinas P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Oficinas P4	Planta Cuarta	5975.53	499.59	2750.78	39.30	8726.31
Total			**499.6**			
Carga total simultánea						**8726.3**

Conjunto: Planta Cuarta - Vestíbulo ascensor P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m³/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
vestíbulo ascensor P4	Planta Cuarta	2205.19	3172.11	17465.89	334.87	19671.08
Total			**3172.1**			

Conjunto: Planta Cuarta - Vestíbulo ascensor P4						
Recinto	Planta	Carga interna sensible (kcal/h)	Ventilación		Potencia	
			Caudal (m^3/h)	Carga total (kcal/h)	Por superficie (kcal/(h·m²))	Total (kcal/h)
Carga total simultánea						**19671.1**

6.6. Resumen cargas de refrigeración y de calefacción

En los cuados siguientes se indican de forma resumida las cargas en cada conjunto térmico estudiado, debidas a refrigeración y a calefacción.

Refrigeración		
Conjunto	Potencia por superficie (kcal/(h·m²))	Potencia total (kcal/h)
1.- Conjunto 1	10.9	8218.6
2.- Planta Baja - Vestíbulo Baja 2	34.4	1613.7
3.- Planta Baja - Vestíbulo de entrada	31.3	466.9
4.- Planta Primera - Oficinas Planta 1	14.3	3169.2
5.- Planta Primera - Vestíbulo ascensores P 2	29.9	1745.7
6.- Planta Segunda - Oficinas P 2	14.3	3172.2
7.- Planta Segunda - Vestíbulo ascensores P 2	30.1	1763.5
8.- Planta Tercera - Oficinas Atrio P3	12.3	1049.1
9.- Planta Tercera - Oficinas P3/P4	14.3	3173.4
10.- Planta Tercera - Vestíbulo Ascensor P 3/P 4	32.0	1877.9
11.- Planta Cuarta - Dirección P4	15.6	1326.7
12.- Planta Cuarta - Oficinas P4	13.5	2993.6
13.- Planta Cuarta - Vestíbulo ascensor P4	30.8	1809.6

Ilustración 20: Resumen cargas refrigeración

Calefacción		
Conjunto	Potencia por superficie (kcal/(h·m²))	Potencia total (kcal/h)
1.- Conjunto 1	54.6	40942.6
2.- Planta Baja - Vestíbulo Baja 2	314.9	14766.0
3.- Planta Baja - Vestíbulo de entrada	333.6	4970.5
4.- Planta Primera - Oficinas Planta 1	36.3	8036.3
5.- Planta Primera - Vestíbulo ascensores P 2	336.2	19632.9
6.- Planta Segunda - Oficinas P 2	36.4	8062.1
7.- Planta Segunda - Vestíbulo ascensores P 2	334.2	19585.5
8.- Planta Tercera - Oficinas Atrio P3	41.5	3535.8
9.- Planta Tercera - Oficinas P3/P4	36.6	8110.3
10.- Planta Tercera - Vestíbulo Ascensor P 3/P 4	330.5	19370.8
11.- Planta Cuarta - Dirección P4	50.9	4328.1
12.- Planta Cuarta - Oficinas P4	39.3	8726.3
13.- Planta Cuarta - Vestíbulo ascensor P4	335.1	19671.1

Ilustración 21: Resumen cargas calefacción

6.7. Simulador operacional

Con los registros de los datos indicados anteriormente se ha llevado a cabo una simulación durante las 24 horas de los 5 días laborables y las 52 semanas de un año con objeto de determinar los efectos favorables del “Atrio”.

Cada una de las 7 variables de temperatura registradas que intervienen a efectos de la climatización del edificio se ha corregido a condiciones de lugar en cuanto a densidad de aire y calor específico.

De esta forma se ha determinado para cada hora, la densidad de aire, el calor específico y la energía necesaria para los siguientes casos:

a) Si el aire de climatización se obtuviera de la cámara acristalada de la zona sur.

b) Si el aire de climatización se obtuviera de la rejilla inferior del Atrio.

c) Si el aire de climatización se obtuviera de la rejilla superior del Atrio.

En cada uno de estos casos, se ha calculado los efectos sobre la demanda en calefacción y en refrigeración, determinándose los ahorros energéticos que se generan en calefacción y en refrigeración por efecto del "Atrio".

A su vez, se ha simulado y calculado la energía que es necesaria si se toma el aire de ventilación desde el exterior directamente tanto para calefacción como para refrigeración. Teniendo en cuenta las necesidades por higienización que establece la normativa para este tipo de edificios.

Por otra parte y teniendo en cuenta que en el caso estudiado, el sistema de climatización tienen incorporada una unidad de free-cooling, se ha simulado y calculado la energía ahorrada tanto en calefacción como en refrigeración por efecto del free-cooling.

7.- RESULTADOS Y PRESENTACIÓN DE DATOS

7. Resultados y Presentación de datos

A partir de las hipótesis indicadas anteriormente, y a través de un simulador operacional, se han determinado para cada semana, los siguientes parámetros:

Descripción
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio
Otras ganancias CALEFACCIÓN
Otras ganancias REFRIGERACIÓN
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN
Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling

Ilustración 22: Parámetros calculados con el simulador operacional

En los cuadros siguientes se recogen de forma resumida los resultados obtenidos:

Descripción	**Unidad**	**Semana 1**	**Semana 2**	**Semana 3**	**Semana 4**	**Semana 5**	**Semana 6**	**Semana 7**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	377,3	333,7	371,9	365,6	606,5	324,9	397,0
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	2,02	3,59	0,0	0,0	0,0	11,0	0,0
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	440,1	365,82	246,4	229,1	127,8	195,9	258,3
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,9	114,0	149,7	116,7	46,0	8,4
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	706,5	51,42	258,78	297,3	349,9	198,9	77,3
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	5.069,19	4.773,37	4.593,57	4.619,0	5.166,0	3.906,1	4.217,0
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	1.101,22	986,1	489,6	452,2	1.180,8	776,2	553,0
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	0,0	5,9	43,22	44,9	14,0	29,7	2,24
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	3.590,66	3.453,48	3.732,0	3.801,1	3.378,70	2.804,9	3.266,86
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ilustración 23: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 1 a 7

Descripción	**Unidad**	**Semana 8**	**Semana 9**	**Semana 10**	**Semana 11**	**Semana 12**	**Semana 13**	**Semana 14**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	310,8	362,7	280,8	319,7	290,5	246,7	174,1
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	10,8
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	157,6	150,9	136,3	176,4	176,9	131,9	71,8
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	138,1	168,0	217,1	94,8	64,8	105,6	217,9
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	260,6	341,7	368,5	185,4	109,4	256,6	311,9
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	3.221,9	3.938,0	3.187,1	3.258,1	3.193,9	2.845,9	1.982,9
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	21,0
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	422,4	530,6	396,4	396,3	338,1	309,1	229,3
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	48,3	45,2	61,4	15,9	35,3	33,3	78,6
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	2.488,7	3.104,7	2.510,8	2.540,1	2.565,2	2.290,0	1.579,4
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	398,3	0,0	0,0	68,3

Ilustración 24: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 8 a 14

Descripción	**Unidad**	**Semana 15**	**Semana 16**	**Semana 17**	**Semana 18**	**Semana 19**	**Semana 20**	**Semana 21**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	189,7	136,9	206,3	178,7	136,48	165,8	94,7
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	2,3	1,1	3,7	0,0	15,0	0,1	18,6
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	38,8	178,9	91,6	55,6	26,4	18,1	0,8
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	236,7	33,3	132,7	122,2	194,4	177,8	328,7
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	287,0	126,2	269,2	235,3	219,8	223,2	234,6
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	2.070,0	2.615,8	2.356,0	2.028,7	1.533,2	1.549,7	904,9
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	44,0	1,3	78,6
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	169,6	261,1	286,7	216,3	174,4	142,7	51,7
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	120,3	6,2	45,5	32,8	81,1	49,2	131,8
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	1.710,6	2.218,8	1.862,9	1.633,6	1.222,3	1.241,1	758,4
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	52,1	47,9	71,8

Ilustración 25: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 15 a 21

Descripción	**Unidad**	**Semana 22**	**Semana 23**	**Semana 24**	**Semana 25**	**Semana 26**	**Semana 27**	**Semana 28**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	170,7	124,5	89,7	51,2	27,7	63,1	76,1
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	4,5	0,0	22,3	26,6	121,8	37,2	10,3
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	39,42	18,6	0,3	0,5	0,6	7,7	48,7
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	157,4	83,4	283,5	292,9	325,6	206,0	166,0
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	236,2	157,2	219,6	204,4	183,7	158,9	194,8
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	1.909,8	1.296,6	834,9	717,0	680,0	1.123,0	1.325,0
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	3,37	0,0	97,8	167,3	438,5	132,8	22,4
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	219,0	149,8	46,8	64,8	36,1	72,7	142,4
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	38,8	11,7	145,0	141,9	425,5	192,7	127,8
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	1.519,9	1.022,2	698,4	600,9	616,2	987,1	1.106,4
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	39,9	0,0	69,4	0,0	108,8	97,2	115,7

Ilustración 26: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 22 a 28

Descripción	**Unidad**	**Semana 29**	**Semana 30**	**Semana 31**	**Semana 32**	**Semana 33**	**Semana 34**	**Semana 35**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	93,1	53,6	33,0	56,7	6,5	32,4	86,8
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	1,7	18,1	38,9	26,2	189,9	54,5	2,7
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	50,6	18,0	1,1	17,3	0,0	47,1	83,8
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	111,7	221,6	241,4	242,8	390,0	140,4	105,5
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	205,7	220,1	192,2	240,4	257,0	136,4	172,0
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	1.718,3	979,3	759,9	1.075,8	322,3	1.120,0	1.516,4
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	62,4	113,1	142,9	622,2	55,1	0,0
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	199,2	102,9	30,2	86,4	16,4	45,5	152,8
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	10,9	82,6	185,5	98,3	520,4	237,0	25,6
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	1.425,9	821,7	696,3	932,5	299,4	1.042,0	1.276,7
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	38,4	111,4	-18,3	88,1	236,4	0,0

Ilustración 27: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 29 a 35

Descripción	**Unidad**	**Semana 36**	**Semana 37**	**Semana 38**	**Semana 39**	**Semana 40**	**Semana 41**	**Semana 42**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	58,9	24,5	70,2	39,6	44,3	63,1	81,7
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	37,0	100,22	14,1	43,4	66,8	83,4	26,2
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	101,9	75,8	120,7	117,1	114,5	122,5	171,6
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	201,0	225,7	183,6	162,5	179,9	233,12	130,3
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	275,8	261,0	281,0	227,6	273,7	335,1	215,0
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	1.467,6	1.061,7	1.807,8	1.305,7	1.715,4	1.692,2	2.316,0
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	46,0	174,3	0,0	42,6	114,0	105,0	20,4
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	140.9	49,3	189,3	106,8	201,5	249,5	316,6
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	85,0	280,3	72,9	134,9	192,15	280,1	202,3
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	1.267,7	987,9	1.548,3	1.159,3	1.469,4	1.379,6	1.917,6
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	74,0	206,2	0,0	135,7	144,9	258,4	208,1

Ilustración 28: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 36 a 42

Descripción	**Unidad**	**Semana 43**	**Semana 44**	**Semana 45**	**Semana 46**	**Semana 47**	**Semana 48**	**Semana 49**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	169,5	187,6	162,1	160,7	200,95	289,3	345,3
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	0,2	0,3	0,3	0,2	0,0	0,0	0,0
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	276,5	295,8	290,6	341,5	295,0	296,4	281,0
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	28,4	3,5	18,6	12,3	23,3	9,6	8,4
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	112,4	46,4	71,9	59,6	119,3	75,1	172,7
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	3.093,7	3.058,5	2.911,0	3.252,8	3.181,2	4.032,8	4.876,9
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	481,5	490,8	420,5	637,9	617,5	811,8	828,9
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	19,0	26,9	25,4	17,8	8,6	1,7	9,9
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	2.442,6	2.380,1	2.328,3	2.454,1	2.362,7	2.981,6	3.702,7
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Ilustración 29: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 43 a 49

Descripción	**Unidad**	**Semana 50**	**Semana 51**	**Semana 52**
Energía necesaria Total para CALEFACCIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	194,9	250,9	290,8
Energía necesaria Total para REFRIGERACIÓN medios convencionales con aporte del Atrio	kW-h	15,0	5,6	0,0
Otras ganancias CALEFACCIÓN	kW-h	231,9	225,5	239,7
Otras ganancias REFRIGERACIÓN	kW-h	46,5	90,3	77,6
Energía generada en el ATRIO para CALEFACCIÓN	kW-h	106,2	178,1	246,3
Energía generada en el ATRIO para REFRIGERACIÓN	kW-h	0,0	0,0	0,0

Energía total necesaria para CALEFACCIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	3.967,2	4.474,3	5.065,7
Energía total necesaria para REFRIGERACIÓN sin aportes gratuitos ni de Atrio ni de Free-cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0
Energía consumida CALEFACCIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	336,3	586,9	754,3
Energía consumida REFRIGERACIÓN con aportes del Free-cooling	kW-h	280,3	279,5	112,0
Ahorro Energético en CELFACCIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	3.436,0	3.636,4	4.774,8
Ahorro Energético en REFRIGERACIÓN con aportes Atrio+Free Cooling	kW-h	0,0	0,0	0,0

Ilustración 30: Simulación y Cálculo ahorros energéticos calefacción y refrigeración. Semana 50 a 52

A continuación se recogen diferentes comparativas en cuanto a la energía necesaria entre tomar el aire de ventilación desde el exterior directamente como se hace en un edificio sin la incorporación de un "Atrio", y el edificio con los aportes del "Atrio".

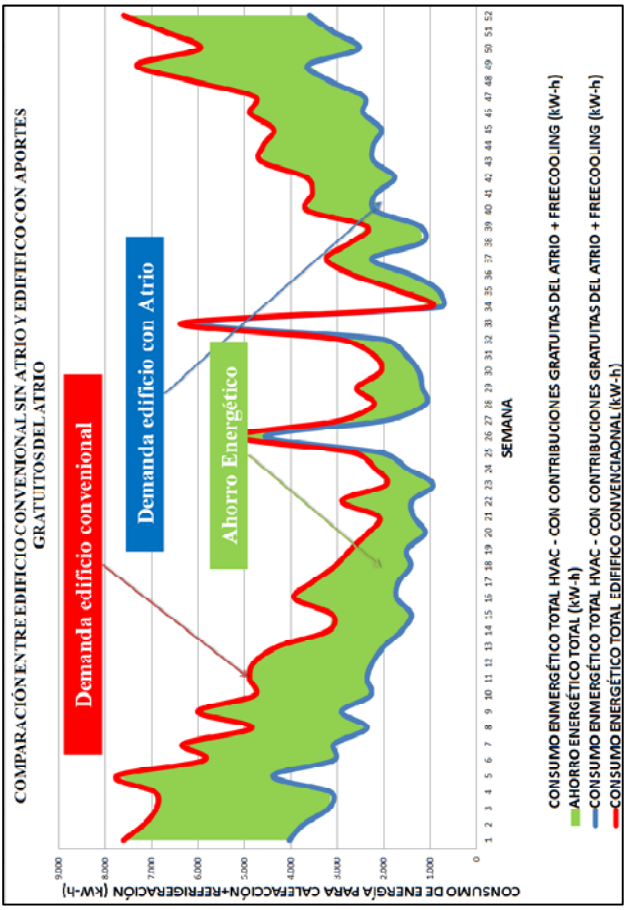


Ilustración 31: Comparación entre la energía necesaria para un edificio sin Atrio y un Edificio con Atrio

En la gráfica anterior **se observa claramente cómo la energía necesaria es muy superior cuando se toma aire primario desde el exterior directamente (línea roja)**, sin tener en cuenta los aportes del "Atrio", tal y como ocurre en los sistemas de climatización convencionales.

La razón **es simple**: *"la temperatura del Atrio es más adecuada que la temperatura exterior, en relación a la temperatura de impulsión del sistema".*

Es decir, **el salto térmico que se debe salvar, entre la temperatura de confort y la temperatura del aire de ventilación, <u>es menor cuando se utiliza el "Atrio"</u>** que cuando se toma el aire directamente desde el exterior.

En la gráfica siguiente se observa este hecho.

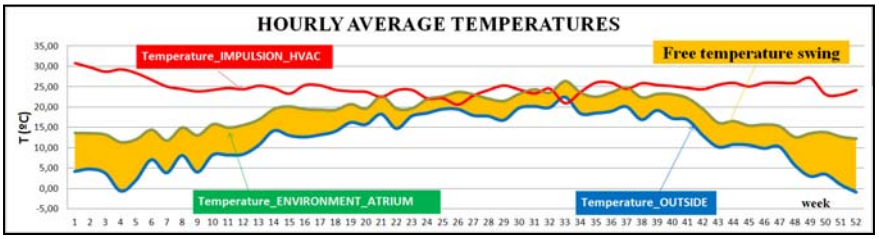


Ilustración 32: Temperaturas medias registradas durante 52 semanas Exterior-Atrio-Impulsión HVAC

Parametrizando las temperaturas medias que se han monitorizado y registrado, se puede observar como la temperatura del aire del

"Atrio", ha estado en condiciones más favorables que la temperatura del aire del exterior.

Solamente se aprecia una diferencia en la semana 33, semana en la que se registraron temperaturas muy elevadas de manera que en este caso, la temperatura del aire exterior se encontraba, en algunas horas del día, en mejores condiciones que la temperatura del aire del "Atrio", en relación a la temperatura de impulsión necesaria que el sistema de control había calculado. Es importante reseñar, que la toma exterior de aire, se encuentra en la fachada norte en la que la propia geometría del edificio genera sombra sobre el espacio de donde se toma el aire exterior y por tanto, en esos momentos, en condiciones más frescas.

Los datos registrados de temperatura en el "Atrio" respecto del exterior se indican a continuación, tanto mínima como máxima:

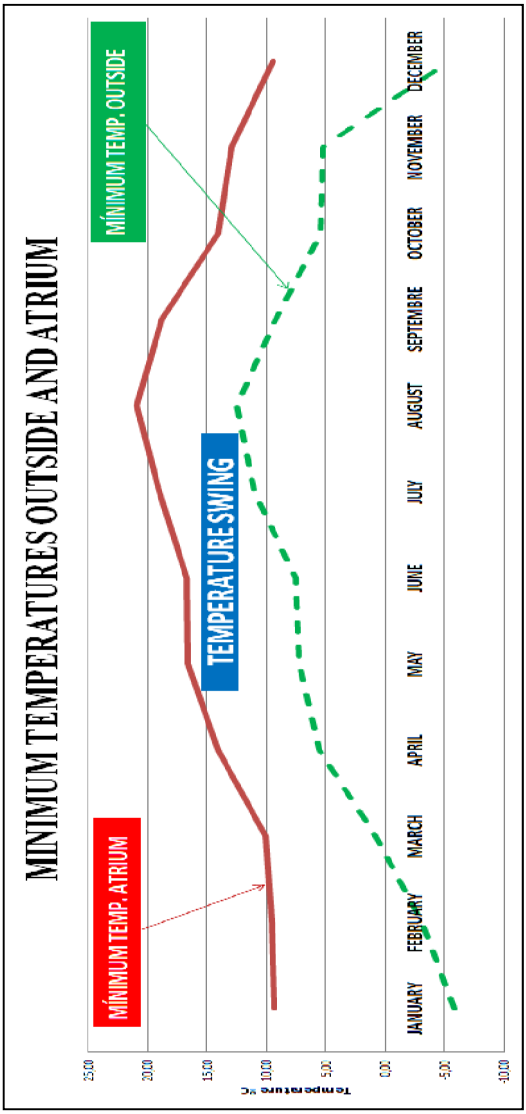
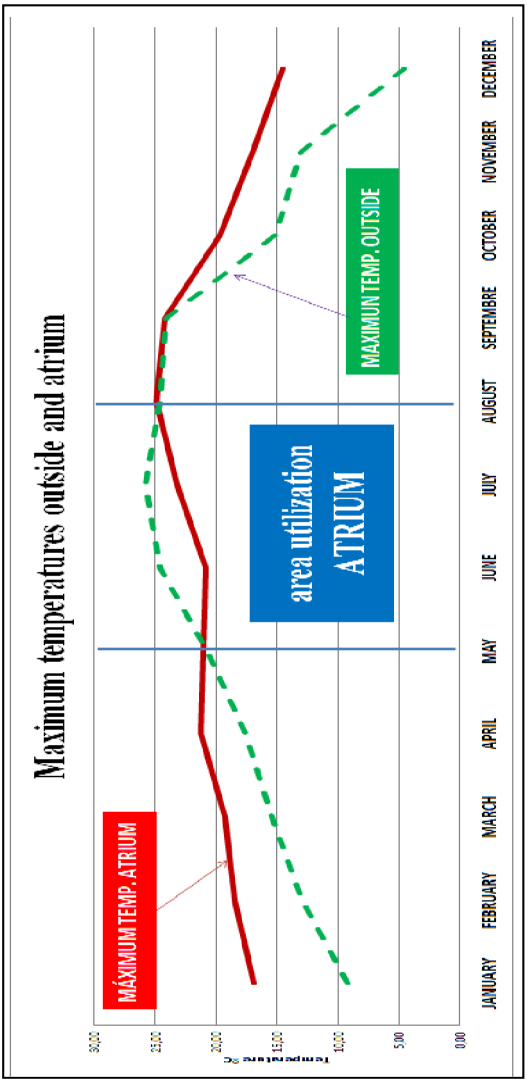


Ilustración 33: Temperaturas mínimas registradas en Atrio y Exterior



lustración 34: Temperaturas máximas registradas en Atrio y Exterior

Las **temperaturas mínimas** registradas durante todo el año, **en el "Atrio" siempre han sido superiores** a las registradas en el exterior.

Esta circunstancia implica un ahorro energético importante al reducir el salto térmico con relación a la temperatura de impulsión necesaria en calefacción.

En relación a las **temperaturas máximas** registradas durante todo el año, cabe destacar, que **hay periodos en los que la temperatura máxima registrada en el "Atrio" es superior** a la registrada en el exterior, en caso de necesitar refrigeración **en esos periodos no se produciría ahorro energético**, ya que es mejor introducir aire primario directamente desde el exterior, el área de utilización del aire del "Atrio" para refrigeración, se indica en la Ilustración 34.

8.- ANALISIS, DISCUSIÓN, CONCLUSIONES Y PROPUESTAS FUTURAS

8. Análisis, Discusión, conclusiones y propuestas futuras

8.1. Análisis y Discusión

Para determinar el ahorro energético generado por la incorporación de un "Atrio" en un edificio, se han tenido en cuenta además de las variables ya indicadas relativas a la envolvente térmica, ubicación, temperaturas, etc., los datos reales de consumo registrados por los sistemas de producción de calefacción y producción de refrigeración del edificio que estudiado.

En este sentido, los consumos registrados y los rendimientos medidos en el periodo en el que se han realizado las mediciones han sido los siguientes:

consumo GAS NATURAL FACTURADO (kWh)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	TOTAL
2011	43.915,00	56.414,89	28.082,98	15.443,40	7.335,59	1.213,34	6.212,91	6.177,80	9.014,26	26.393,54	45.317,24	49.556,49	295.077,42
2012	49.556,49	43.373,20	40.572,36	22.801,14	27.970,02	8.404,22	6.275,54	290,00	1.500,49	12.345,25	27.300,21	33.564,61	273.953,54
2013	57.099,44	63.895,86	35.926,70	45.200,52	20.653,68	23.213,42	6.177,51	4.031,38	462,59	10.648,66	24.691,82	38.792,06	330.793,66
2014	54.431,20	42.461,83	36.547,89	30.530,98	14.565,42	16.298,37	5.013,68	3.247,49	1.886,16	7.166,83	20.096,94	33.878,13	266.124,91

Rendimiento Caldera (%)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	PROMEDIO
2011	92.30	92.40	92.70	92.20	93.80	94.00	93.80	94.20	93.20	93.80	94.00	90.10	**93,04**
2012	92.1	92.1	93.1	92.9	94.0	93.5	93.5	94.2	93.9	93.1	93.1	92.2	**93,14**
2013	93.1	92.0	93.2	93.0	93.2	93.7	93.8	94.5	93.4	93.6	92.3	92.3	**93,18**
2014	92.5	92.2	93.0	92.7	93.7	93.7	93.7	94.3	93.5	93.5	93.1	91.5	**93,12**
promedio global	92.5	92.2	93.0	92.7	93.7	93.7	93.7	94.3	93.5	93.5	93.1	91.5	**93,12**

Ilustración 35: Consumo de gas natural y rendimiento de la caldera

consumo ENERGIA ELECTRICA ENFRIADORA (kWh)	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	consumo total edificio	consumo enfriadora
2011	9.926,00	8.681,00	12.057,00	9.458,00	10.964,00	12.521,00	10.077,00	13.774,00	12.735,00	5.319,00	3.854,00	3.355,00	112.721,00	**13.526,52**
2012	5.344,00	8.328,00	10.674,00	8.254,00	8.385,00	8.110,00	9.113,00	11.696,00	10.255,00	9.745,00	5.252,00	6.734,00	101.890,00	**12.226,80**
2013	7.343,00	6.061,00	5.816,00	6.068,00	6.078,00	6.636,00	8.022,00	11.195,00	11.641,00	7.496,00	7.241,00	4.780,00	88.377,00	**10.605,24**
2014	5.451,00	6.528,00	6.716,00	7.456,00	8.930,00	8.698,00	8.038,00	10.532,00	8.374,00	8.466,00	6.214,00	7.007,00	92.410,00	**11.089,20**
													promedio	**11.861,94**
													COP	2

Ilustración 36: Consumo de energía eléctrica enfriadora

Se ha realizado un simulador operacional en el que registrando 6 variables, se realiza el cálculo del ahorro energético, tanto en calefacción como en refrigeración.

Los datos a suministrar son los siguientes:

1. Superficie Acondicionada (m^2)
2. Demanda de calefacción (kWh/m^2)
3. Demanda de refrigeración (kWh/m^2)
4. Ratio Ventilación/Superficie acondicionada (%)
5. Ratio Aire Atrio/Aire de ventilación) (%)
6. Apertura compuerta aire exterior (%)

Con estos parámetros, se determina el aire de ventilación necesario en m^3/h y el volumen de aire total en el "Atrio" (m^3), además se simula porcentualmente la reducción de aire por reducción del volumen del "Atrio"

	Aire VENTILACIÓN (m3/h)	Aire ATRIO (m3/h)	Superficie ACONDICIONADA (m2)	Demanada CALEFACCIÓN calculada CYPE-CALENER GT (kWh/m2)	Demanada REFRIGERACIÓN calculada CYPE-CALENER GT (kWh/m2)
	6.000,48	1.800,14	1.852,00	106,00	12,81
	Ratio (ventilacion/superficie acondiconada)	Ratio (Aire ATRIO/Aire de ventilacion)			
	3,24	30%	apertura compuerta aire exterior		
Simulación por reducción del volumen del ATRIO	AIRE ATRIO	30,00%	30,00%		
	AIRE FREE COOLING	70,00%	70,00%		
	AIRE EXTERIOR	0,00%	0,00%		

Ilustración 37: Datos de entrada simulador

Por otra parte y en base a los datos registrados, se determina la energía necesaria para calefacción que hace falta **por ventilación** para un edificio convencional sin la existencia de "Atrio" en kW-h, así

mismo, se determina la energía necesaria para calefacción **por transmisión** en kW-h.

Primero, se calcula la demanda total de calefacción en base a la demanda calculada por metros cuadrados y la superficie acondicionada y segundo se determina el porcentaje sobre el total de demanda que representa la demanda de ventilación y por diferencia se obtiene la demanda por transmisión.

Para el caso estudiado, con los datos de partida indicados anteriormente, la **energía necesaria para calefacción por ventilación** en un edificio sin "Atrio" sería de 130.605,86 kW-h **y por transmisión** sería de 65.706,14 kW-h, **en total 196.312,0 kW-h**.

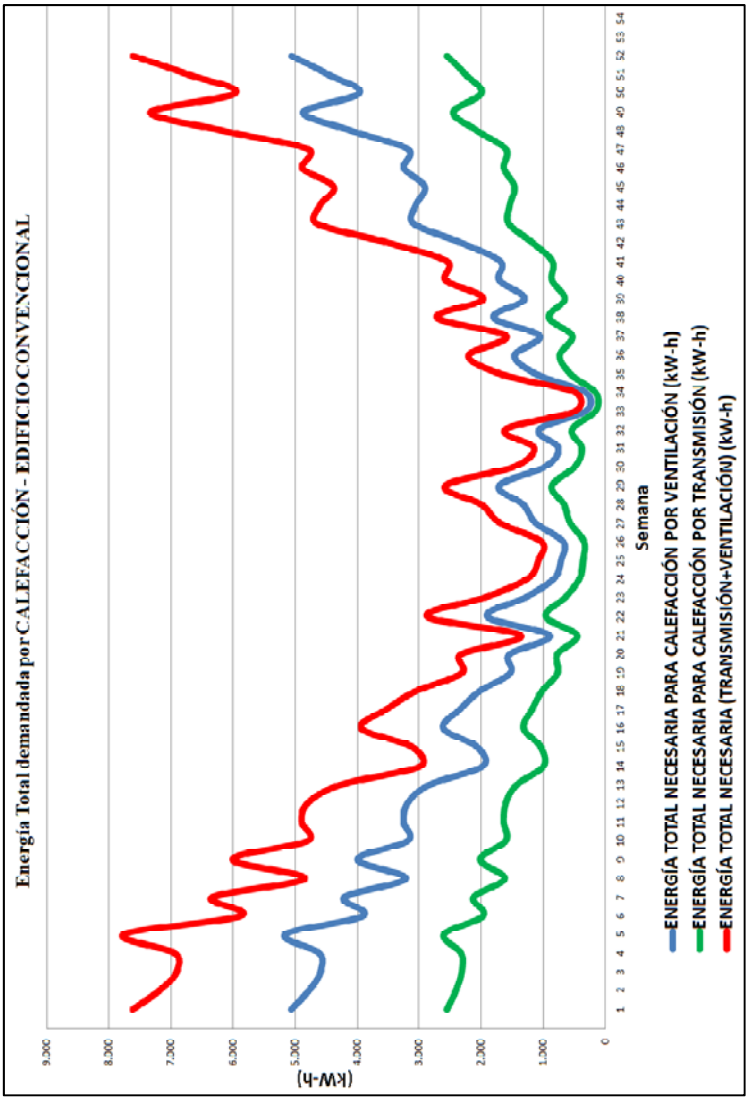


Ilustración 38: Energía necesaria calefacción edificio sin Atrio

A su vez, se realizan los cálculos para determinar la energía necesaria para refrigeración que hace falta por ventilación para un edificio convencional sin la existencia de "Atrio" en kW-h, así como, la energía necesaria para refrigeración por otras cargas en kW-h.

Por tanto, se calcula la demanda total de refrigeración en base a la demanda calculada por metros cuadrados y la superficie acondicionada y segundo se determina el porcentaje sobre el total de demanda que representa la demanda de ventilación y por diferencia se obtiene la demanda por otras cargas.

Para el caso estudiado, con los datos de partida indicados anteriormente, la **energía necesaria para refrigeración por ventilación** en un edificio sin "Atrio" sería de 2.507,88 kW-h y por **otras cargas** sería de 21.216,00 kW-h, en **total 23.723,86 kW-h.**

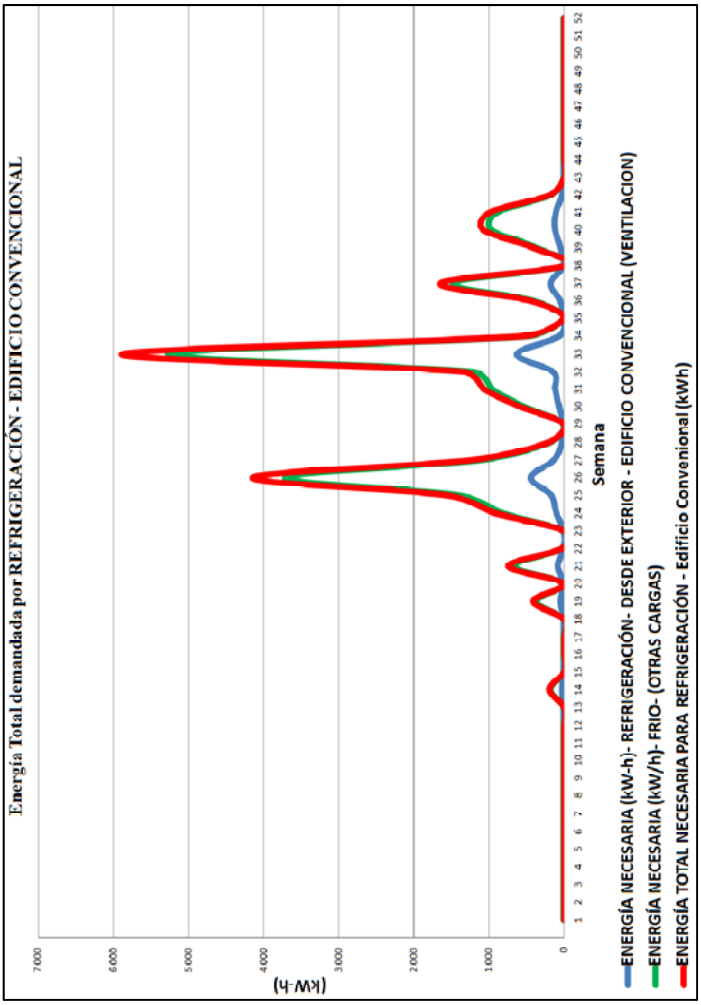


Ilustración 39: Energía necesaria refrigeración edificio sin Atrio

Para determinar la energía necesaria tanto por calefacción como por refrigeración del edificio con "Atrio", se ha tenido en cuenta todos los datos registrados durante un año de mediciones.

De esta forma se determina la energía necesaria para calefacción teniendo en cuenta las contribuciones gratuitas del "Atrio", así como la energía que se gastaría por efecto del free-cooling, y la energía necesaria, en su caso, para acondicionar el aire que se toma desde el exterior debida a la renovación obligatoria por higienización.

La suma total de estos tres valores representa la energía necesaria total que hace falta para calefacción por ventilación al descontar los aportes gratuitos del "Atrio" y del efecto del free-cooling.

Para el caso estudiado, en las condiciones de volumen de aire y apertura de rejilla de ventilación exterior indicadas anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

ENERGÍA TOTAL NECESARIA PARA CALEFACCIÓN CON CONTRIBUCIÓN GRATUITA DEL ATRIO (kW-h)	SIMULACION - Energía que hace falta por aporte de aire EXTERIOR si vario el volumen del ATRIO (kWh)	ENERGÍA TOTAL NECESARIA CALEFACCIÓN DESCONTANDO LOS APORTEAS GRATUITOS DEL FREE-COOLING (kW-h)	ENERGÍA TOTAL GASTADA - VENTILACION- CON APORTES ATRIO+FREECOOLING (kWh)
9.471,35	0,00	18.051,99	27.523,35

Ilustración 40: Energía total gastada para calefacción descontando los aportes gratuitos del Atrio + Free Cooling

Por su parte, también se calcula la energía necesaria para refrigeración teniendo en cuenta las contribuciones gratuitas del "Atrio", así como la energía que se gastaría por efecto del free-cooling

y la energía necesaria, en su caso, para acondicionar el aire que se toma desde el exterior por necesidades de higienización reglamentaria.

La suma total de estos tres valores representa la energía necesaria total que hace falta para calefacción por ventilación al descontar los aportes gratuitos del Atrio y del efecto del free-cooling.

Para el caso estudiado, en las condiciones de volumen de aire y apertura de rejilla de ventilación exterior indicadas anteriormente, se obtienen los siguientes resultados:

ENERGÍA TOTAL NECESARIA PARA REFRIGERACIÓN CON CONTRIBUCIÓN GRATUITA DEL ATRIO (kW-h)	SIMULACION - Energía que hace falta por aporte de aire EXTERIOR si vario el volumen del ATRIO (kWh)	ENERGÍA TOTAL NECESARIA REFRIGERACIÓN DESCONTANDO LOS APORTES GRATUITOS DEL FREE-COOLING (kW-h)	ENERGÍA TOTAL GASTADA PARA REFRIGERACIÓN POR VENTILACION CON APORTES ATRIO+FREECOOLING (kWh)
1.016,68	0,00	1.472,87	2.489,55
40,84%	0,00%	59,16%	

Ilustración 41: Energía total gastada para refrigeración descontando los aportes gratuitos del Atrio + Free Cooling

En las ilustraciones siguientes se representa la demanda total del edificio por calefacción y refrigeración del edificio teniendo en cuenta los aportes gratuitos del "Atrio" más el free-cooling.

Así, para el caso estudiado, con los datos obtenidos, y el ahorro energético generado por el "Atrio", la **energía necesaria para calefacción por ventilación** en un edificio con "Atrio" sería de 27.523,35 kW-h y por **transmisión** sería de 65.706,14 kW-h, en **total 93.229,49 kW-h.**

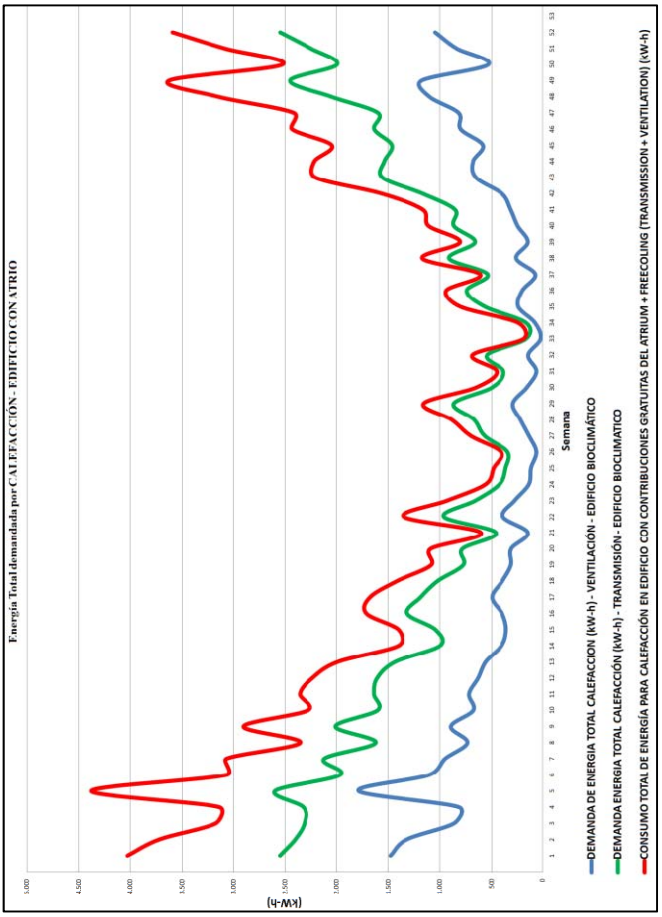


Ilustración 42: Energía necesaria para calefacción con aportes gratuitos del Atrio + Free-Cooling

En refrigeración, la **energía necesaria** en un edificio con "Atrio" sería de 6.215,71 kW-h por **ventilación** y 21.216,00 kW-h por **otras cargas**, en **total 27.431,71 kW-h.**

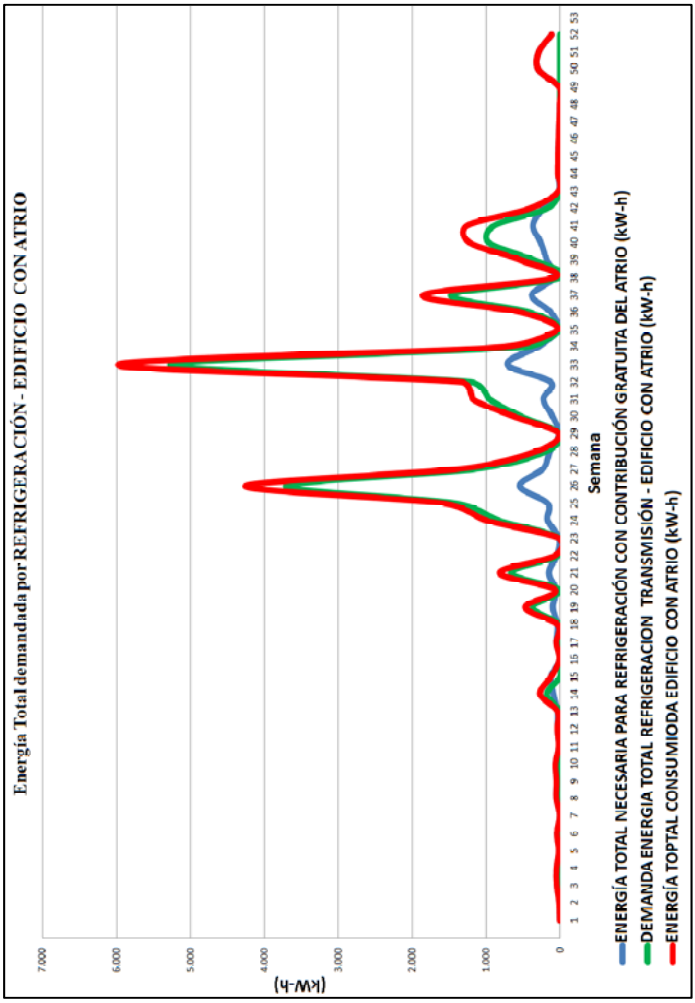


Ilustración 43: Energía necesaria para refrigeración con aportes gratuitos del Atrio + Free-Cooling

Claramente se observa, como **el gasto energético es menor cuando se aprovecha el aire del "Atrio" para la ventilación del edificio.**

El ahorro energético que introduce el "Atrio" al sistema de climatización se divide en ahorro energético en calefacción y ahorro energético en refrigeración.

A su vez, el sistema de climatización del edificio que sirve de "laboratorio", incorpora un sistema de climatización que utiliza dos elementos de ahorro energético: (i) free-cooling y (ii) recuperador entálpico.

Esta situación ha implicado la necesidad de analizar correctamente el sistema de climatización al unir el "Atrio", **para discernir correctamente los aportes gratuitos del "Atrio"** así como su aprovechamiento.

La configuración esquematizada del sistema de climatización, incluido el "Atrio", se presenta a continuación.

Como se puede observar, el sistema puede tomar aire procedente del "Atrio" y mezclarlo con el aire procedente del retorno de ventilación, mediante un sistema de compuertas y a través de una estrategia de funcionamiento, en función a su vez de las temperaturas del aire del "Atrio" y del aire de retorno, abriéndose en más o en menos porcentaje.

Por otra parte, el sistema de climatización incorpora unas baterías de frío y calor mediante intercambiadores alimentados por agua fría y caliente respectivamente, que utilizan como equipos productores una enfriadora que utiliza energía eléctrica y una caldera que utiliza gas natural como combustible.

En la figura indicada, se observa claramente cómo las baterías de apoyo se encuentran cerradas, gracias a los aportes gratuitos del "Atrio".

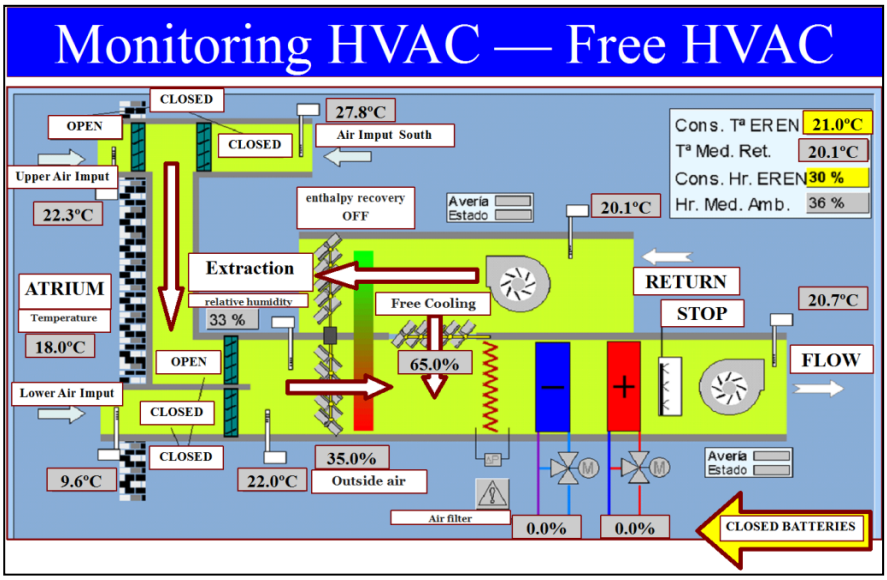


Ilustración 44: Sistema de HVAC

Realizada la simulación para el periodo monitorizado y estudiado en esta investigación, se obtiene que el "Atrio", genera un importante

ahorro energético para calefacción mientras que para refrigeración, prácticamente es despreciable.

El **Ahorro energético generado por el "Atrio" para calefacción es de 35.480,31 kW-h**. Por su parte, el ahorro energético generado por el free-cooling es de 67.620,53 kW-h, lo que implica un ahorro energético total de 103.100,84 kW-h.

En el cuadro siguiente se puede observar el ahorro energético generado semanalmente.

	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL (CALOR+FRIO) POR APORTACIONES ATRIO (kW-h)	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL (CALOR+FRIO) POR FREECOOLING (kW-h)
TOTALES	**35.480,31**	**67.620,53**
SEMANA 1	1.235,62	2.355,04
SEMANA 2	1.188,42	2.265,07
SEMANA 3	1.284,27	2.447,76
SEMANA 4	1.308,06	2.493,11
SEMANA 5	1.162,68	2.216,02
SEMANA 6	965,24	1.839,71
SEMANA 7	1.124,19	2.142,67
SEMANA 8	856,41	1.632,29
SEMANA 9	1.068,40	2.036,33
SEMANA 10	864,02	1.646,78
SEMANA 11	874,12	1.666,03
SEMANA 12	882,74	1.682,47
SEMANA 13	788,06	1.502,01
SEMANA 14	543,52	1.035,93
SEMANA 15	588,68	1.121,99
SEMANA 16	763,54	1.455,27
SEMANA 17	641,09	1.221,90
SEMANA 18	562,16	1.071,45
SEMANA 19	420,63	801,70
SEMANA 20	427,10	814,04
SEMANA 21	260,99	497,44
SEMANA 22	523,05	996,91
SEMANA 23	351,77	670,45
SEMANA 24	240,35	458,09
SEMANA 25	206,81	394,18
SEMANA 26	212,07	404,20
SEMANA 27	339,68	647,42
SEMANA 28	380,75	725,70
SEMANA 29	490,68	935,22
SEMANA 30	282,79	538,98

	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL (CALOR+FRIO) POR APORTACIONES ATRIO (kW-h)	AHORRO ENERGÉTICO TOTAL (CALOR+FRIO) POR FREECOOLING (kW-h)
SEMANA 31	239,63	456,73
SEMANA 32	328,40	622,50
SEMANA 33	103,03	196,36
SEMANA 34	84,09	160,28
SEMANA 35	302,96	577,42
SEMANA 36	436,25	831,48
SEMANA 37	339,95	647,92
SEMANA 38	532,79	1.015,47
SEMANA 39	398,96	760,40
SEMANA 40	505,67	963,78
SEMANA 41	474,76	904,87
SEMANA 42	659,92	1.257,77
SEMANA 43	840,57	1.602,09
SEMANA 44	819,05	1.561,07
SEMANA 45	801,24	1.527,12
SEMANA 46	844,52	1.609,62
SEMANA 47	813,06	1.549,66
SEMANA 48	1.026,06	1.955,63
SEMANA 49	1.274,17	2.428,52
SEMANA 50	1.182,41	2.253,63
SEMANA 51	1.251,36	2.385,03
SEMANA 52	1.383,55	2.636,99

Ilustración 45: Ahorro energético Atrio y Free-cooling por semanas

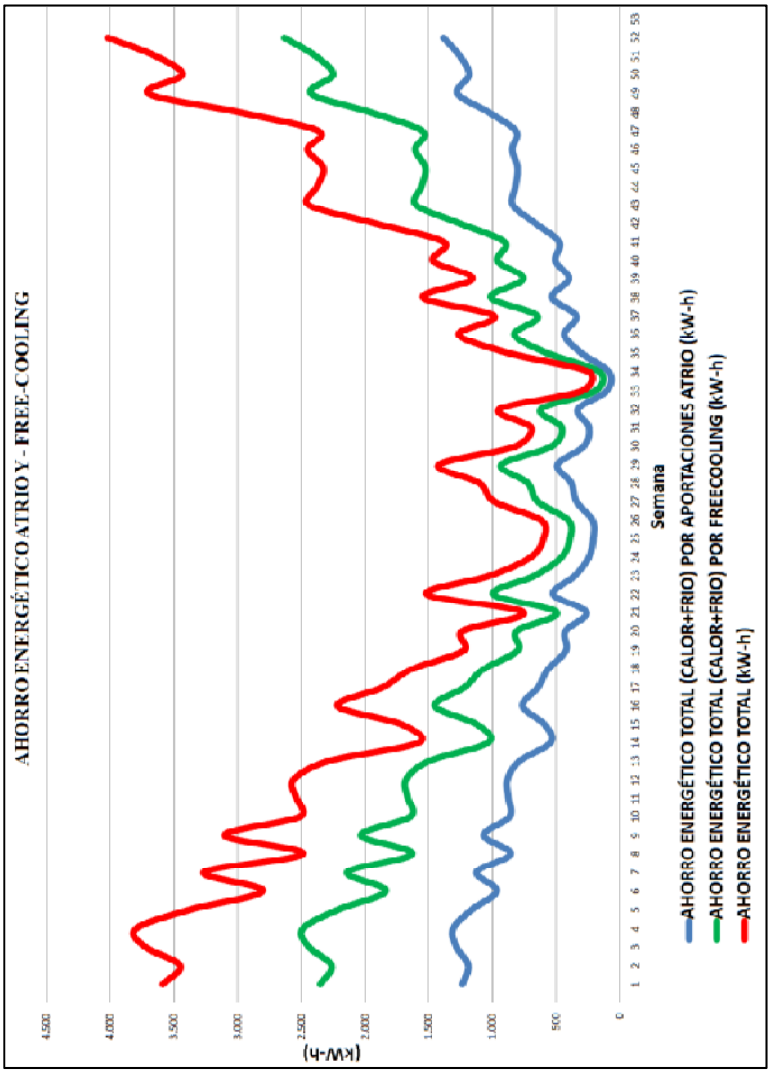


Ilustración 46: Ahorro energético generado por el Atrio y por el Free-cooling en calefacción

Desde el punto de vista porcentual, y relacionando el ahorro energético respecto de la demanda total del edificio, éste se genera en calefacción, y es prácticamente nulo en refrigeración.

El ahorro energético generado por el "Atrio" se evalúa en promedio en el 19,62%, 18,07% en calefacción y 1,55% en refrigeración.

Este valor **se produce cuando el aporte de aire exterior es del 30%,** valor mínimo exigido por las normas para higienización del aire de ventilación.

CALEFACCIÓN					
AHORRO ENERGÉTICO REFERIDO AL CONSUMO TOTAL DE EDIFICIO EN CALEFACCIÓN			AHORRO ENERGÉTICO REFERIDO AL CONSUMO POR VENTILACIÓN DEL EDIFICIO EN CALEFACCIÓN		
%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo total del edificio convenional	%máximo de ahorro por Freecooling referido al consumo total del edificio convenional	%máximo de ahorro Total referido al consumo total en CALEFACCIÓN del edificio convenional	%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo por ventilación del edificio convenional	%máximo de ahorro por Freecooling referido al consumo por ventilación del edificio convenional	%máximo de ahorro Total referido al consumo por ventilación del edificio convenional
18,07%	34,44%	52,51%	27,16%	51,77%	78,93%

Ilustración 47: Porcentaje de ahorro energético generado por el Atrio en Calefacción

REFRIGERACION					
AHORRO ENERGÉTICO REFERIDO AL CONSUMO TOTAL DE EDIFICIO EN REFRIGERACION			AHORRO ENERGÉTICO REFERIDO AL CONSUMO POR VENTILACIÓN DEL EDIFICIO EN REFRIGERACION		
%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo total del edificio convenional	%máximo de ahorro por Freecooling referido al consumo total del edificio convenional	%máximo de ahorro Total referido al consumo total en REFRIGERACION del edificio convenional	%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo por ventilación del edificio convenional	%máximo de ahorro por Freecooling referido al consumo por ventilación del edificio convenional	%máximo de ahorro Total referido al consumo por ventilación del edificio convenional
1,55%	0,00%	1,55%	59,46%	57,91%	59,46%

Ilustración 48: Porcentaje de ahorro energético generado por el Atrio en Refrigeración

Analizando los ahorros porcentuales semanalmente se tiene lo siguiente:

SEMANA	AHORRO ENERGÉTICO
SEMANA 1	24,60%
SEMANA 2	24,97%
SEMANA 3	15,88%
SEMANA 4	15,30%
SEMANA 5	26,09%
SEMANA 6	24,30%
SEMANA 7	15,73%
SEMANA 8	17,88%
SEMANA 9	18,97%
SEMANA 10	17,97%
SEMANA 11	15,53%
SEMANA 12	16,13%
SEMANA 13	15,93%
SEMANA 14	19,47%
SEMANA 15	17,20%
SEMANA 16	15,06%
SEMANA 17	16,98%
SEMANA 18	17,91%
SEMANA 19	22,39%
SEMANA 20	18,25%
SEMANA 21	19,48%
SEMANA 22	17,42%
SEMANA 23	16,96%
SEMANA 24	16,82%
SEMANA 25	22,56%
SEMANA 26	17,64%

SEMANA	AHORRO ENERGÉTICO
SEMANA 27	23,43%
SEMANA 28	19,41%
SEMANA 29	22,38%
SEMANA 30	17,31%
SEMANA 31	14,17%
SEMANA 32	18,12%
SEMANA 33	18,77%
SEMANA 34	12,77%
SEMANA 35	18,86%
SEMANA 36	26,51%
SEMANA 37	12,19%
SEMANA 38	18,61%
SEMANA 39	17,45%
SEMANA 40	20,30%
SEMANA 41	24,46%
SEMANA 42	25,24%
SEMANA 43	24,56%
SEMANA 44	23,79%
SEMANA 45	22,20%
SEMANA 46	29,33%
SEMANA 47	26,49%
SEMANA 48	25,51%
SEMANA 49	21,05%
SEMANA 50	14,29%
SEMANA 51	21,03%
SEMANA 52	23,20%

Ilustración 49: Porcentaje de Ahorro Energético por semanas

El ahorro energético que se consigue con la incorporación del "Atrio" al sistema de climatización, depende de los siguientes parámetros:

a) Demanda de calefacción
b) Demanda de refrigeración
c) Superficie climatizada
d) Volumen de aire de ventilación

e) Volumen de aire en el Atrio respecto del volumen de aire a ventilar
f) El porcentaje de entrada de aire directo desde el exterior.

El efecto que se observa cuando se varía el volumen de aire del "Atrio" respecto del aire de ventilación total de edificio, es el siguiente:

Aire VENTILACIÓN (m3/h)	Aire ATRIO (m3/h)	Ratio (Aire TARIO/Aire de ventilacion)	%máximo de ahorro en calefacción por Atrio referido al consumo total del edificio convenional
6.000,48	0,00	0,00%	0,00%
	300,02	5,00%	3,22%
	600,05	10,00%	6,36%
	900,07	15,00%	9,41%
	1.200,10	20,00%	12,37%
	1.500,12	25,00%	15,26%
	1.800,14	30,00%	18,07%
	2.100,17	35,00%	20,80%
	2.400,19	40,00%	23,46%
	2.700,22	45,00%	26,06%
	3.000,24	50,00%	28,58%
	3.300,26	55,00%	31,03%
	3.600,29	60,00%	33,42%
	3.900,31	65,00%	35,75%
	4.200,34	70,00%	38,02%
	4.500,36	75,00%	40,23%
	4.800,38	80,00%	42,38%
	5.100,41	85,00%	44,48%
	5.400,43	90,00%	46,52%
	5.700,46	95,00%	48,51%
	6.000,48	100,00%	50,45%

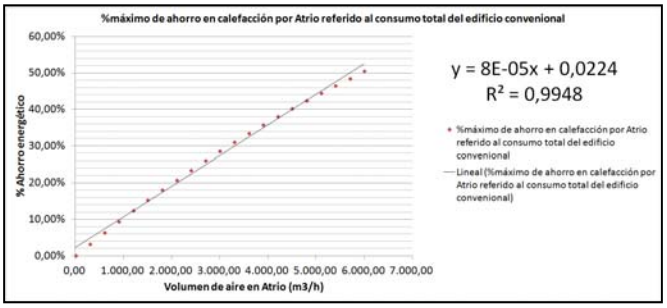


Ilustración 50: Porcentaje máximo de ahorro energético según volumen de aire del Atrio

Una vez que se han obtenido los resultados anteriores, se ha llevado a cabo **el cálculo teórico del ahorro energético aplicando la fórmula expresada teóricamente**, con objeto de comparar los resultados teóricos con los medidos realmente, de manera que se han obtenido los siguientes resultados:

			MEDIDO	TEORICO	
Aire VENTILACIÓN (m3/h)	Aire ATRIO (m3/h)	Ratio (Aire TARIO/Aire de ventilacion)	%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo total del edificio convenional MEDIDO	%máximo de ahorro por Atrio referido al consumo total del edificio convenional TEORICO	DESVIACIÓN SOBRE EL TEORICO
6.000,48	0,00	0,00%	0,00%	0,00%	**0,00%**
	300,02	5,00%	3,22%	4,19%	**-0,97%**
	600,05	10,00%	6,36%	7,85%	**-1,49%**
	900,07	15,00%	9,41%	11,30%	**-1,89%**
	1.200,10	20,00%	12,37%	14,27%	**-1,90%**
	1.500,12	25,00%	15,26%	17,21%	**-1,95%**
	1.800,14	30,00%	18,07%	19,79%	**-1,72%**
	2.100,17	35,00%	20,80%	22,27%	**-1,47%**
	2.400,19	40,00%	23,46%	25,49%	**-2,03%**
	2.700,22	45,00%	26,06%	27,15%	**-1,09%**
	3.000,24	50,00%	28,58%	29,25%	**-0,67%**
	3.300,26	55,00%	31,03%	31,32%	**-0,29%**
	3.600,29	60,00%	33,42%	33,33%	**0,09%**
	3.900,31	65,00%	35,75%	35,28%	**0,47%**
	4.200,34	70,00%	38,02%	37,18%	**0,84%**
	4.500,36	75,00%	40,23%	39,03%	**1,20%**
	4.800,38	80,00%	42,38%	40,84%	**1,54%**
	5.100,41	85,00%	44,48%	42,60%	**1,88%**
	5.400,43	90,00%	46,52%	44,69%	**1,83%**
	5.700,46	95,00%	48,51%	46,19%	**2,32%**
	6.000,48	100,00%	50,45%	47,79%	**2,66%**

Ilustración 51: Comparativa entre el ahorro energético teórico y el ahorro energético medido

A continuación se presentan los porcentajes de ahorro energético calculado de forma teórica y el ahorro energético medido realmente.

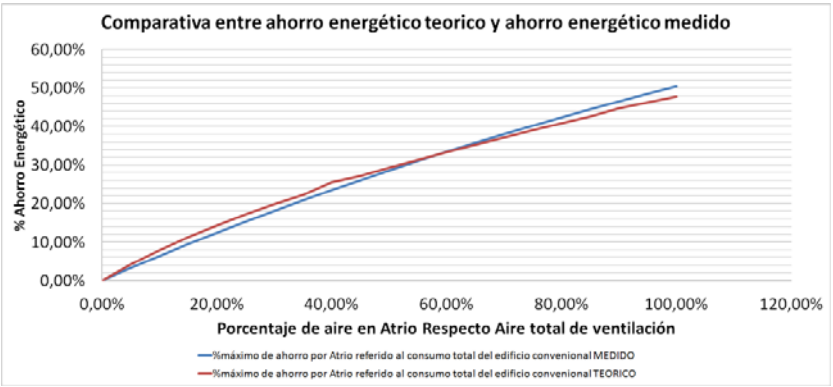


Ilustración 52: Grafica sobre comparativa entre ahorro energético teórico y ahorro energético medido

8.2. Conclusiones

Los edificios, se seguirán construyendo, pues son necesarios para desarrollar nuestra actividad diaria. Las personas necesitan los edificios para vivir, las empresas necesitan los edificios para trabajar, las Administraciones Públicas necesitan los edificios para atender los servicios públicos.

Los edificios son grandes consumidores de energía, cuyo consumo energético ha ido aumentando paulatinamente, básicamente debido a la mejora de las condiciones de vida y confort de las personas.

Este aumento del consumo energético, no se produce exclusivamente en nuestro país, sino que cualquier país del mundo sigue una senda parecida, hay que tener en cuenta, que cuanto mayor es el nivel de desarrollo de un país, mayor es el consumo energético en general y mayor es el consumo energético de los edificios en particular.

Conscientes del aumento del consumo energético, que implica directamente un aumento de la dependencia exterior en el abastecimiento energético, las Instituciones Europeas, han aprobado diferentes documentos y Directivas para intentar reducir este consumo energético. En este sentido, las conclusiones del Consejo Europeo de los días 8 y 9 de marzo de 2007, insistían en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la Unión con el **objetivo de alcanzar en el año 2020 una reducción del consumo energético del 20%** referido al consumo registrado en el año 1990.

Ante estos retos, **surge esta investigación**, cuyo objetivo ha sido demostrar que diseñando una solución constructiva como es un "Atrio", integrándola, a su vez, con las nuevas tecnologías disponibles para la climatización de los edificios, **es posible alcanzar los retos marcados, de reducir el consumo energético de los edificios en un 20%**, maximizando así la eficiencia energética de los edificios y contribuyendo a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, mitigando el cambio climático.

Después de **registrar, tratar y analizar más de 538.000 celdas de datos**, durante un año completo, en esta Tesis, **se demuestra que la incorporación de un "Atrio"**, **conectado de forma activa** al sistema de climatización del edificio, **contribuye de forma importante a reducir el consumo energético de los edificios**, calculando que **este ahorro energético de media es del 19,62%.**

Lo que ha quedado demostrado, también, es que en el edificio estudiado y que ha servido de "laboratorio", donde la demanda energética es mayor para calefacción que para refrigeración, **el ahorro energético que se genera en calefacción representa el 92% del total del ahorro, esto es el 18,07%, frente a sólo el 8% en refrigeración, esto es, el 1,55%**.

Por su parte, teniendo en cuenta que se ha partido de la formulación teórica del ahorro energético que puede generar un "Atrio" conectado de forma activa al sistema de climatización de un edificio, y que luego se ha medido el ahorro energético en el edificio real, cabe señalar que **las desviaciones** entre los resultados teóricos y los resultados medidos, son relativamente pequeñas, moviéndose entre el -0,97% y el +2,66%, lo que permite afirmar que la formula teórica

inicialmente considerada, **es válida** y se puede utilizar para otros edificios.

Analizando la información obtenida, se detecta que **las temperaturas mínimas del "Atrio"** a lo largo del año, **siempre han sido mayores que las temperaturas mínimas registradas en el exterior**, este es un factor importante a la hora de determinar los efectos positivos del "Atrio" sobre el consumo energético, ya que para calefacción, **las condiciones de temperatura en el "Atrio" son más favorables que las condiciones de temperatura del exterior**.

Por su parte, en cuanto a las temperaturas máximas, se observa que de enero a mayo y de septiembre a diciembre, las temperaturas máximas del "Atrio" son superiores a las registradas en el exterior, mientras que en los meses más cálidos, junio, julio y agosto, la temperatura del "Atrio" es inferior a la temperatura exterior, por ello el ahorro energético en refrigeración es reducido.

A su vez, es de destacar, que aunque se aumente el volumen del aire en el "Atrio" hasta el volumen máximo necesario para ventilar el edificio, el ahorro energético, **en ningún caso superará el 50,45% respecto del consumo total energético para climatización.**

En definitiva, con esta investigación, **queda demostrado que la incorporación de un "Atrio"**, **implica la mejora de la eficiencia energética**, **la reducción del consumo energético y la reducción de gases de efecto invernadero, en casi un 20%**, pudiéndose calcular de **forma teórica**, mediante la siguiente fórmula.

$$AE = \frac{[EV - (K + (M * EV) + L)] - \left[EV - (K + (M * EV) + L) - \left[[EV - (K + M * EV + L)] * \frac{L}{K + M * EV + L}\right]\right]}{EV + ET} * 100$$

Donde:

AE = Ahorro Energético sobre el consumo de energía para calefacción del edificio (%).

EV = Energía total necesaria para calefacción por ventilación (kW-h).

K= Energía necesaria para calefacción por ventilación descontando los aportes gratuitos del Atrio (kW-h).

M = Porcentaje de aire exterior expresado en tanto por uno (%)

L = Energía necesaria para calefacción descontando los aportes gratuitos por efecto de free-cooling (kW-h).

ET = Energía tota necesaria para calefacción por transmisión (kW-h)

No es necesario aplicar soluciones muy sofisticadas para conseguir nuestro objetivo. Todo lo contrario, soluciones de arquitectura bioclimática y eficiente energéticamente, utilizadas en la antigüedad ponen de manifiesto las **posibilidades reales** que tenemos para ahorrar energía y por ende, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, simplemente, pensando, diseñando y construyendo edificios que puedan aprovechar los aportes energéticos gratuitos.

8.3. Propuestas Futuras

Finalmente indicar, que esta Tesis, **abre una vía de investigación** que hasta este momento no se había explorado, más allá, de estudiar el comportamiento térmico del aire en cuanto a los cambios en su temperatura en los “Atrios”, pero sin haberse tenido en cuenta, el "Atrio", como un elemento activo más del sistema de climatización.

Además, hay que tener en cuenta que esta investigación se ha llevado a cabo sobre un edificio con un sistema específico de climatización. Sería interesante estudiar otro tipo de edificios y ver si el efecto de un "Atrio" o "un volumen de aire", como por ejemplo una caja de escalera en un edificio de viviendas, conectado activamente daría los mismos resultados o no, o cuáles deberían ser las condiciones de integración de este tipo de espacios para obtener el mayor aprovechamiento energético posible.

Asimismo, **esta investigación trata de aportar y cuantificar soluciones para la reducción del consumo energético en los edificios**, para que se tengan en cuenta desde el primer momento en el que se decide construirlos, demostrando que un correcto diseño, cálculo y proyecto de soluciones bioclimáticas, contribuyen a conseguir los objetivos fijados para el año 2020 **al reducir un 20% el consumo energético** en los edificios, pero además, contribuyendo a mitigar los efectos del cambio climático por la emisión de gases de efecto invernadero, al verse reducidas por la aplicación de soluciones como la construcción de un Atrio.

Éste, es el principio, ya que hay otras soluciones, que correctamente diseñadas y puestas en práctica, **permitirían aumentar**

esta reducción del consumo energético, cámaras acristaladas, muros trombe, acumulación en las estructuras de los edificios, aplicación de tecnologías avanzas de producción y distribución de calor y frío, etc, y que por tanto, **deberían ser validadas y cuantificadas** significando otras líneas de investigación complementarias a la presentada en esta Tesis.

9.- PUBLICACIONES Y RECONOCIMIENTOS

9. Publicaciones y Reconocimientos

Las conclusiones de esta investigación, **han sido presentadas en la "International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ´15)"**, que se ha celebrado en la Coruña (España) los días 25 a 27 de marzo de 2015.

El artículo fue aceptado por el Comité en fecha 30 de noviembre de 2014.

El título del artículo es: **"The energy saving effect of incorporating an ATRIUM into a building"**.

Ha sido publicado con la referencia 291-15-getino, ISSN 2172-038 X, N0.13, April 2015.

Además del "paper", se presentó un poster, que **fue elegido el mejor**, en base a (i) la originalidad, (ii) interés del tema, (iii) calidad, (iv) elaboración, (v) referencias, (vi) objetivos y (vii) conclusiones.

9.1. Aceptación del artículo

European Association for the Development of Renewable Energies, Environment and Power Quality

Vigo, 30th November, 2014

REFERENCE OF THE PAPER: 291

TITLE and AUTHORS: **The energy saving effect of incorporating an ATRIUM into a building**
R. Getino-De la Mano, J. L. Falagán Cavero

I would like to thank to the authors for proposing a paper for the "***International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ´15)***". The number of papers that can be presented in the Conference is limited. For this reason, the International Scientific Committee found it necessary to decline some of the papers. This was a difficult task in view of the quality of the submitted proposals. Each digest/provisional full paper was evaluated by two referees, peer review, and the papers submitted were selected on the following bases: ***originality, interest, quality, elaboration, references and objectives/conclusions.***

Take into account these bases the members of the International Scientific Committee have expressed a global conclusion about each paper like: ***excellent, good, average, poor, bad or very bad,*** and sometimes they send us some remarks for the authors.

After the Reviewing Process, I am very delighted to inform you that the **ICREPQ International Scientific Committee** has reviewed your paper and it **HAS BEEN ACCEPTED** for the presentation at ICREPQ´15.

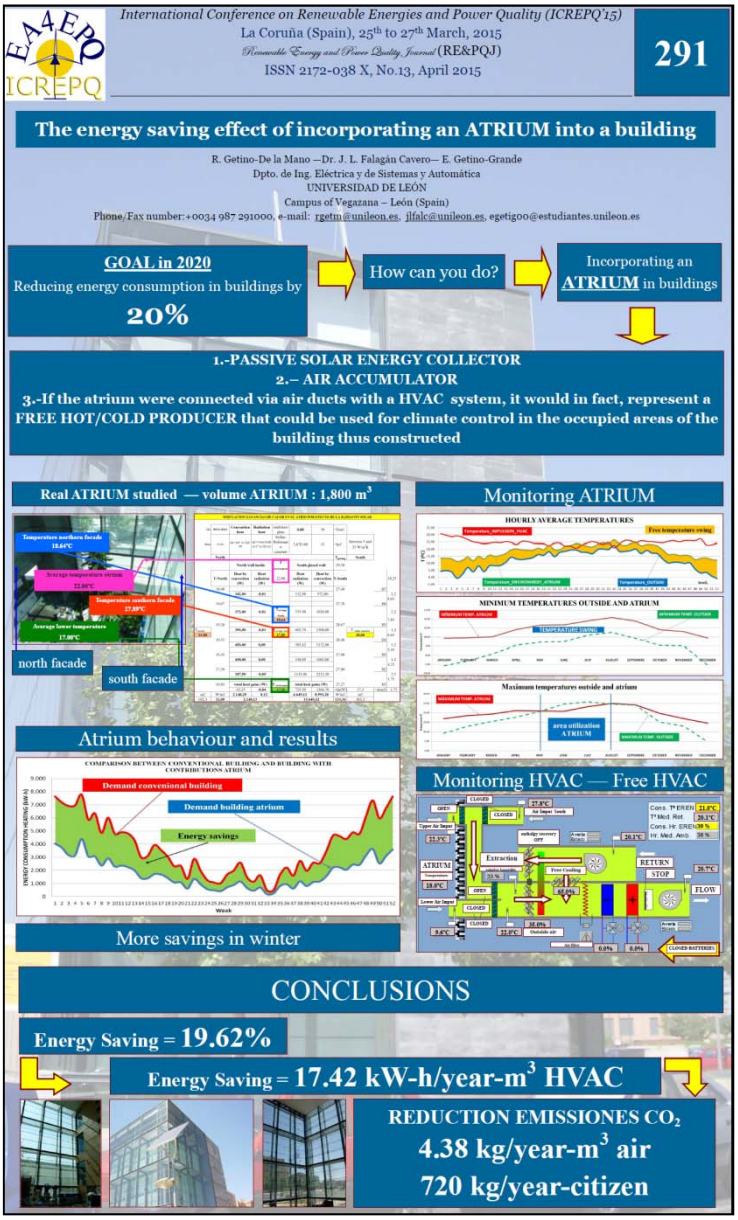
Congratulations on your fine contribution and it's my pleasure to invite you to attend at ICREPQ'15 that will be held in La Coruña(Spain), from 25th to 27th of March, 2015, for to present your paper.

Best regards.

Manuel Pérez-Donsión
Chairman of the ICREPQ Steering Committee

Fiscal Address: **C/ Ramón Aller, 83 ; Entreplanta C, 36500 Lalín, Pontevedra (Spain)**
RNA Nº. 169208 C.I.F.: G36415636

9.2. Poster


International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'15)
La Coruña (Spain), 25th to 27th March, 2015
Renewable Energy and Power Quality Journal (RE&PQJ)
ISSN 2172-038 X, No.13, April 2015
291
The energy saving effect of incorporating an ATRIUM into a building
R. Getino-De la Mano –Dr. J. L. Falagán Cavero— E. Getino-Grande
Dpto. de Ing. Eléctrica y de Sistemas y Automática
UNIVERSIDAD DE LEÓN
Campus of Vegazana – León (Spain)
Phone/Fax number:+0034 987 291000, e-mail: rgetm@unileon.es, jlfalc@unileon.es, egetigoo@estudiantes.unileon.es
GOAL in 2020
Reducing energy consumption in buildings by
20%
How can you do?
Incorporating an ATRIUM in buildings
1.-PASSIVE SOLAR ENERGY COLLECTOR
2.– AIR ACCUMULATOR
3.-If the atrium were connected via air ducts with a HVAC system, it would in fact, represent a FREE HOT/COLD PRODUCER that could be used for climate control in the occupied areas of the building thus constructed
Real ATRIUM studied — volume ATRIUM : 1,800 m3
north facade
south facade
Monitoring ATRIUM
HOURLY AVERAGE TEMPERATURES
MINIMUM TEMPERATURES OUTSIDE AND ATRIUM
Maximum temperatures outside and atrium
Atrium behaviour and results
COMPARISON BETWEEN CONVENTIONAL BUILDING AND BUILDING WITH CONTRIBUTIONS ATRIUM
Demand convenional building
Demand building atrium
Energy savings
More savings in winter
Monitoring HVAC — Free HVAC
CONCLUSIONS
Energy Saving = 19.62%
Energy Saving = 17.42 kW-h/year-m3 HVAC
REDUCTION EMISSIONES CO2
4.38 kg/year-m3 air
720 kg/year-citizen

9.3. Certificado Mejor Poster

EA4EPQ

European Association for the Development of Renewable Energy, Environment and Power Quality

INTERNATIONAL CONFERENCE ON RENEWABLE ENERGY AND POWER QUALITY

BEST POSTER AWARD

EA4EPQ to the authors of one of the three best posters presented at the ***"International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'15)"***, that has been held in ***PALEXCO-Congress and Exhibition Centre of La Coruña*** **(Spain)** from the **25, 26 and 27 of March, 2015,** with the title: **"The energy saving effect of incorporating an ATRIUM into a building"**, **and authors: R. Getino-De la Mano, J. L. Falagán Cavero, E. Getino Grande**

La Coruña, 25th of March 2015

Chairman of the Steering Committee — **Manuel Pérez Donsión**

Chairman of the Local Committee — **Ana Álvarez García**

10.- BIBLIOGRFIA

10. Bibliografía

Las fuentes de toda investigación científica deben aparecer explícitamente en el texto, citadas de forma sistemática, ya sea empleando el sistema de cita continental o el sistema de cita anglosajón.

1] P. E. y. Consejo, *DIRECTIVA 2012/27/UE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO,* 2012.

2] IDAE, «Informe Anual de consumos energéticos,» 2011.

3] Ministerio de Indsutria, Energía y Turismo, «La Energía en España 2013,» 2013.

4] Comision Europea, «Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador,» COMISION EUROPEA, 2010.

5] GRID-Arendal- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino de España, «El Clima en Peligro,» 2009.

6] T. D. Q. G.-K. P. M. T. S. A. J. B. A. N. Y. X. V. B. a. P. M. IPCC.2013.Stocker, «Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental,» Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, 2013.

F. M. T. Duque, «La arquitectura bioclimática y el cambio

7] climático (ARI),» 2010. [En línea].

8] R. G. y. R. Amills, «ARQUITECTURABIOCLIMÁTICA,» Goethe-Institut, Windberg (Germany), 1991.

9] C. H. W. C. Xin Wang, «Mathematical modeling and experimental study on vertical temperature distribution of hybrid ventilation in an atrium building,» *Energy and Buildings,* vol. 41, nº no, pp. 907-914, 9 Septiembre 2009.

10] A. Aldawoud, «The influence of the atrium geometry on the building energy performance,» vol. 57, pp. 1-5, Febrero 2013.

11] F. D. A. H. M. Khalaji Assadi, «Analytical model of atrium for heating and ventilating an institutional building naturally,» vol. 43, pp. 2595-2601, Octubre 2011.

12] P. H. O. Shafqat Hussain, «Numerical investigations of buoyancy-driven natural ventilation in a,» vol. 57, nº Issues 1–2, pp. 133-146, agosto 2013.

13] H.-T. L. J.-H. C. Pei-Chun Liu, «Evaluation of buoyancy-driven ventilation in atrium buildings using computational fluid dynamics and reduced-scale air model, Building and Environment,» vol. 44, 2009.

14] M. C. V. H. Y. Ji, «CFD modelling of natural displacement ventilation in an enclosure connected to an atrium,» vol. 42, 2007.

15] C. Li, J. Zhang, Z. Zhang y Q. Ji, «The temperature stratification measurement and simulation in atrium of Wuhan

Station,» pp. 4240,4243, 26-28 Julio 2011.

16] Y. L. Z. H. G. W. Yiqun Pan, «Study on simulation methods of atrium building cooling load in hot and humid regions, Energy and Buildings,» vol. 42, 2010.

17] Parlamento Europeo y Consejo Europeo , *Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010, relativa a la eficiencia energética de los edificios,* 2010.

18] Parlamento Europeo y Consejo Europeo, *Directiva 2002/91/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios,* 2002.

19] R. C. Abdelsalam Aldawoud, «Comparative analysis of energy performance between courtyard and atrium in buildings,» vol. 40, 2008.

20] U. E. I. Administration, «The Annual Energy Outlook 2014 (AEO2014),» 2014.

21] Okanagan University College de Canadá, Departamento de Geografía; Organismo de protección de medio ambiente (EPA) de los Estados Unidos, Washington, «The science of climate change, contribución del grupo de trabajo 1 al segundo informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático, PNUMA y Organización Meteorológica Mundial (OMM), Cambridge University Press,» 1996.

PNUMA/Earthscan Publications, «Keeling y Whorf 2001 en

22] Global Environment Outlook 3,» 2002.

23] NOAA's National Climatic Data Center , «State of the Climate in 2013,» 2014.

24] V. Olgyay, «Reducing Green House Gas Emissions Through. Green Building Desing.,» Ponencia, 2008.

25] L. d. Garrido, «Cuidar el clima Guía de la Convención Marco sobre el Cambio Climático y el Protocolo de Kyoto (edición revisada, 2005),» 2008. [En línea].

26] T. Peizhe, Z. Enxiang y G. Guangling, «Study on the Thermal Environment in Building Atrium with Different Sections Under the Condition of Natural Ventilation,» vol. vol.2, nº no, pp. 631,634, 26-28 Nov 2010.

27] Ministerio de Fomento, Codigo Tecnico de la Edificación. Apendice E cálculo de los parámetros carcaterístico de la demanda. DB-HE ahorro de energía, 2006.

28] Ministerio de Industria, Energía y Turismo, « Factores de emisión de CO2. Documento Reconocido,» Ministerio de Industria, Energía y Turismo, 2014.

29] Ente Regional de la Energía de Castilla y Léon, «Estadística Energética de Castilla y León,» EREN, LEÓN, 2013.

30] Comision Europea, «Una estrategia para un crecimiento inteligente, sostenible e integrador,» COMISION EUROPEA, 2010.