

Proyecto Fin de Carrera

Análisis Energético de una Iglesia Histórica,
Iglesia de los Marineros (Gävle – Suecia).
Balance Energético y Medidas de Eficiencia.

Autor

Jonay Rodríguez Sánchez

Director y ponente

Taghi Karimipannah – Universidad de Gävle (Suecia)

Inmaculada Arauzo Pelet – Universidad de Zaragoza

Escuela de Ingeniería y Arquitectura

2015

Análisis energético de una Iglesia Histórica, Iglesia de los Marineros (Gävle – Suecia):

Resumen

Este trabajo se realizó en Gävle (Suecia), un país muy preocupado por los consumos energéticos y la mejora de su eficiencia, así como la búsqueda de fuentes alternativas de generación de energía. Una muestra de ello es su política de suministro de electricidad y calor, con sistemas de generación pequeños y muy distribuidos, prácticamente municipales, aprovechando los recursos existentes, como la biomasa residual de la explotación forestal.

El objetivo principal de este trabajo es el de estimar las pérdidas que se producen en la Iglesia de los Marineros de Gävle, una construcción antigua y mal aislada. El edificio hace tiempo que no se usa con fines religiosos, sino que se ha convertido en un centro cultural donde se realizan todo tipo de actividades como talleres, teatro, conciertos... Por ello el uso que se le da es bastante continuado y la demanda energética es elevada.

Para ello el proyecto se ha dividido en dos partes: en primer lugar se realiza un balance energético donde se analizan las pérdidas y ganancias energéticas que tiene el edificio, y en segundo lugar se proponen distintas soluciones para poder reducir la demanda tanto de calor como de electricidad.

Para poder llevarlo a cabo se ha realizado un gran trabajo previo de recopilación de información, que incluye, entre otros, la recuperación y análisis de las facturas de luz, agua y calor de distrito (district heating), estudio de las condiciones estructurales del edificio así como de los materiales que lo componen mediante varias visitas al lugar de estudio o el examen de los planos constructivos disponibles.

En la primera parte del trabajo las ganancias se dividen en: calor procedente de la calefacción de distrito, de la radiación solar y de las fuentes internas que lo desprenden de manera “involuntaria”, a lo que se hará referencia como calor libre. En cuanto a las pérdidas, se han dividido en pérdidas a través de la envolvente, ventilación, agua caliente sanitaria e infiltraciones. En el análisis de las pérdidas es donde se ha podido comprobar como la mayor parte de éstas corresponden a las que se producen a través de la envolvente, llegando a ser del **80%**. Esto deja un gran campo de estudio sobre las posibilidades de mejora que existen, y que se tratan con detalle en la segunda parte del proyecto.

En la segunda parte se llevan a cabo estudios sobre posibles soluciones a las pérdidas, y, consecuentemente, la reducción de la demanda energética. Estas soluciones se dividen en cuantificables y no cuantificables. Las soluciones cuantificables corresponden a mejoras de aislamiento en el sistema envolvente del edificio. Éstas pueden llegar a **reducir en un 46%** las necesidades de calor. En cuanto a las soluciones no cuantificables, están basadas en cambios en el comportamiento a la hora de usar los aparatos electrónicos, el uso de sensores de movimiento para el encendido y apagado de luces o la mejora del mantenimiento de los sistemas de calefacción y ventilación.

Tabla de contenidos

1	Introducción	1
1.1	Objetivo.....	2
1.2	Contexto	2
1.3	Objeto de estudio.....	2
1.4	Descripción del proyecto.....	3
2	Enfoque teórico y trabajo previo	4
2.1	Trabajo previo.	4
2.2	Auditoría energética.....	4
2.2.1	Tipos de auditoría energética	4
2.2.2	El proceso de la auditoría	5
2.2.3	El informe.....	6
2.3	Calefacción urbana (District heating).....	6
2.4	Balance de energía en un edificio.....	8
3	Proceso y resultados	14
3.1	Ganancias energéticas	14
3.1.1	Calefacción urbana.....	14
3.1.2	Radiación solar.....	14
3.1.3	Calor libre.....	18
3.2	Pérdidas energéticas	20
3.2.1	Transmisión.....	20
3.2.2	Agua Caliente Sanitaria (ACS)	23
3.2.3	Ventilación	24
3.2.4	Infiltración y ventilación natural	24
3.3	Balance energético	25
4	Medidas de eficiencia energética	26
4.1	Paredes	26
4.2	Ventanas.....	27
4.3	Techo.....	27
4.4	Suelo del sótano	28
4.5	Resumen de las medidas de eficiencia	29
4.6	Ahorros no cuantificables.....	30
4.6.1	Mantenimiento de los sistemas eléctricos	30
4.6.2	Reducir la temperatura del agua caliente sanitaria.....	30
5	Conclusión.....	31
6	Referencias	33

7	Lista de figuras.....	35
8	Lista de tablas.....	36
9	Lista de gráficos.....	37
	Apéndice 1: Consumos de electricidad, calor (district heating) y agua corriente.....	Ap I - 1
	Ap 1.1 Electricidad.....	Ap I - 1
	Ap 1.2 Calor (District heating).....	Ap I - 2
	Ap 1.3 Agua corriente.....	Ap I - 3
	Apéndice 2: Área, radiación y orientación de las ventanas.....	Ap II - 1
	Ap 2.1 Área.....	Ap II - 1
	Ap 2.2 Radiación y orientación.....	Ap II - 6
	Apéndice 3: Área paredes y tejado.....	Ap III - 1
	Ap 3.1 Área y espesor de las paredes.....	Ap III - 1
	Ap 3.2 Área tejado.....	Ap III - 4
	Apéndice 4: Cálculos.....	Ap IV - 1
	Ap 4.1 Pérdidas a través de las paredes.....	Ap IV - 1
	Ap 4.2 Pérdidas a través del tejado.....	Ap IV - 2
	Apéndice 5: Grados – hora y temperatura media en Gävle.....	Ap V - 3
	Ap 5.1 Tabla de grados-hora.....	Ap V - 3
	Apéndice 6: Sistema de ventilación.....	Ap VI - 1
	Apéndice 7: Presupuestos reformas aislamiento.....	Ap VII - 1
	Ap 7.1 Paredes.....	Ap VII - 1
	Ap 7.2 Suelo.....	Ap VII - 2
	Ap 7.3 Techo.....	Ap VII - 3
	Apéndice 8: Planos constructivos del edificio.....	Ap VIII - 1
	Ap 8.1 Planta baja.....	Ap VIII - 1
	Ap 8.2 Primera planta.....	Ap VIII - 2
	Ap 8.3 Segunda planta.....	Ap VIII - 3
	Ap 8.4 Tercera planta.....	Ap VIII - 4
	Ap 8.5 Cuarta planta.....	Ap VIII - 5

1 Introducción

El conocimiento y manejo de la energía ha hecho posible que hoy gocemos de grandes comodidades y servicios: electricidad, agua potable, combustibles... Pero también conlleva grandes costes medioambientales a nivel global, como el constante crecimiento de los agentes contaminantes que se vierten tanto al aire como a las aguas y los suelos, así como una explotación desbordante de los recursos naturales. Por esta razón este proyecto trata de colaborar en la reducción de estos daños que nuestro comportamiento como especie hace al medio en el que vivimos.

El uso de la energía ha ido en crecimiento exponencial desde la revolución industrial, donde se produjeron grandes y profundos cambios económicos, sociales y tecnológicos. Nuevos combustibles con una capacidad energética mayor sustituyeron a los tradicionales. Por ejemplo se comenzó a usar el carbón, que aún se consume en gran medida en la actualidad, como muestra la figura 1.

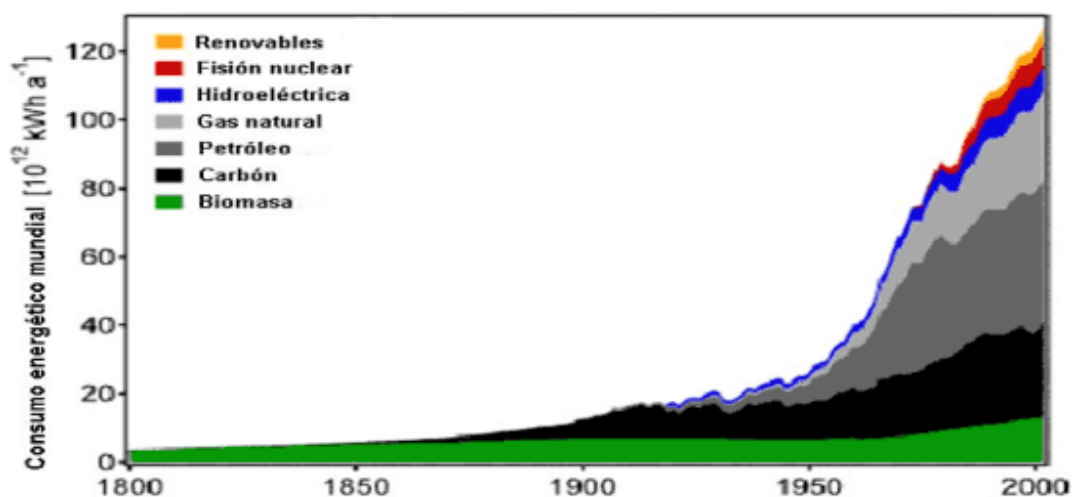


Gráfico 1: Evolución del consumo energético mundial desde 1800 hasta la actualidad [1]

La necesidad de producir más energía para los procesos industriales que comenzaban a desarrollarse, y un consumo de productos por parte de la población cada vez mayor, puso en marcha la rueda de la extracción y el uso masivo de los combustibles fósiles. Esto supone un doble problema: por un lado el hecho de que estos combustibles son limitados, y en segundo lugar la gran contaminación que de sus múltiples usos se deriva.

En la actualidad, la principal preocupación sobre contaminación reside en los países en vías de desarrollo, China, India y Latinoamérica, ya que están viviendo una revolución industrial de proporciones enormes. Estos países usan combustibles fósiles como el carbón y el petróleo para la generación energética, ya que las plantas son baratas de construir, la tecnología está más que probada, y el combustible es económico. Su crecimiento es tal que en una década, China ha incrementado su consumo en un 146%, India un 90% y Latinoamérica un 60% [2]. Sus grandes poblaciones, y el desarrollo acelerado gracias a fuertes liberalizaciones económicas, sobretodo en China e India [3], hace prever que esta situación irá a más en un futuro cercano.

Por estas razones, estudios como el que aquí se presenta, auditorías energéticas, investigación e inversiones en energías renovables y eficiencia energética, son cada vez más necesarios. Esto se ve reflejado en las orientaciones políticas que la Unión Europea ha establecido en los últimos tiempos, como son el Programa de Recuperación Energético Europeo del 12/04/2011 o la Directiva de Eficiencia Energética de los Edificios del 6/2/2014, y más localmente en España se puede comprobar en la Ley 2/2011 de Sostenibilidad Económica, Título III, *Sostenibilidad Medioambiental* o el Documento Básico HE, que se creó en Abril 2009 como complemento al Código Técnico de la Edificación para el ahorro energético.

1.1 Objetivo

El objetivo de este proyecto es doble. Por un lado conocer el balance energético del edificio, calcular y comparar las pérdidas y las ganancias, y, en segundo lugar, buscar una solución práctica y factible a las pérdidas energéticas mediante la propuesta de distintas medidas, como la mejora del aislamiento, la operación de las instalaciones, mantenimiento...

Se estudiarán también las posibilidades de inversión en este proyecto tomando como referencia los distintos precios de los materiales y la mano de obra.

De este proyecto se beneficiará la principal empresa colaboradora, Gavlefastigheter, ya que se encarga de la conservación y administración del edificio estudiado, y de la mayoría de los edificios públicos del municipio.

1.2 Contexto

Este proyecto se realizó conjuntamente con el departamento de Ingeniería civil, Energía y Medio Ambiente de la Universidad de Gävle, Suecia, y la empresa Gavlefastigheter, encargada del mantenimiento y la conservación de los distintos edificios dentro de la municipalidad de Gävle.

En este municipio, como en el común de Suecia, se busca la eficiencia y el ahorro energético como solución para la conservación del medio ambiente. Las condiciones climatológicas presentes les obligan a buscar soluciones para la reducción de pérdidas y proyectar todas las edificaciones con esta finalidad. Esto se ve reflejado en los distintos trabajos que los estudiantes realizan, para obtener experiencia en este sector. Muchos de los proyectos que realiza la Universidad tienen que ver con esta temática, siendo una parte muy importante en los avances en cuanto a materiales de construcción, estructuras o métodos de calefacción.

1.3 Objeto de estudio

El objeto de estudio de este proyecto es la Iglesia de los Marineros (Sjömanskyrka), situada en Gävle, Suecia. Es un edificio construido entre 1890 y 1891 por la Iglesia Luterana con acuerdo a

los dibujos de Erik Alfred Hedin. Se puede observar en la figura 1 la construcción típica de ladrillo rojo y dorado del estilo neogótico.



Figura 1: Vista norte y sur de la iglesia

En 1977 la Iglesia fue vendida para colocar una carretera en su lugar, pero con el paso del tiempo el proyecto se abandonó. Una fuerte opinión pública en contra de su desaparición comenzó a crecer por lo que para evitar una posible demolición la Junta del Patrimonio Nacional definió el edificio como “históricamente valioso”.

En los años 80 la junta municipal reforma la iglesia para darle un uso cultural y poder realizar en su interior actividades de diversa índole, como talleres, conciertos, reuniones...

1.4 Descripción del proyecto

En primer lugar, se va a realizar una pequeña introducción teórica donde se explicarán los distintos métodos usados, a la vez que el trabajo previo que fue necesario realizar para la consecución de los objetivos.

Posteriormente en la sección 3, Proceso y resultados, se pasará a describir con más profundidad los distintos procedimientos seguidos para el cálculo del balance energético y se mostrarán los resultados obtenidos.

En la sección 4, Medidas de eficiencia energética, se buscarán distintas alternativas para reducir las pérdidas y poder mejorar la eficiencia del edificio.

Por último, en el capítulo 5, Conclusiones, se valoran los puntos fuertes y débiles del proyecto y sirve de resumen del trabajo en su conjunto, valorando los distintos resultados que de él se deriven.

2 Enfoque teórico y trabajo previo

2.1 Trabajo previo.

Para poder llevar a cabo este proyecto ha sido necesario desarrollar un trabajo previo de recopilación e interpretación de información. Al comienzo del desarrollo del trabajo apenas se contaba con planos o datos, por ello fue necesario visitar el edificio en diversas ocasiones, así como los distintos departamentos del ayuntamiento de Gävle que pudieran tener cualquier información útil. También se contactó con la empresa energética que distribuye tanto calor como electricidad en este municipio, Gävle Energi, para conocer las demandas existentes.

Una vez recopilada la información, se procede a trabajar sobre ella para extraer datos que puedan ser utilizados en el estudio.

Uno de los casos más claros fue la necesidad de digitalizar ciertos planos que se recogieron para poder trabajar sobre ellos en el ordenador, de tal manera que no se deterioraran. De esta manera las entidades que los cedieron se beneficiaron al poder contar con ellos dentro de las bases de datos informáticas.

Para poder aproximar lo máximo posible los materiales de los que se compone la iglesia a los que aquí se tienen en cuenta para realizar los cálculos, se visitó la iglesia en varias ocasiones, tanto por la parte exterior como por los distintos pisos que existen en su interior.

2.2 Auditoría energética

Una auditoría energética es un estudio que evalúa, en una vivienda o industria, donde se usa la energía y las posibilidades de ahorro [4].

Existe una relación directa entre la cantidad de datos recogidos y analizados, las posibilidades de ahorro y el coste que se deriva de una auditoría. Por ello se suele hacer una doble distinción: por un lado el coste de la auditoría marcará el grado de profundidad que tendrá la misma, y por otro el objeto de estudio que tendrá, ya que, por ejemplo, en una vivienda se centrará más en el sistema envolvente, sistema de ventilación e iluminación, mientras que si está centrada en una industria tendrá como foco de atención los procesos que en ella tengan lugar, ya que en ellos se encontrarán los mayores consumos energéticos y las grandes posibilidades de ahorro.

2.2.1 Tipos de auditoría energética

En consecuencia con lo expuesto en el párrafo anterior, se deriva la clasificación de distintos tipos de auditoría dependiendo del grado de complejidad.

- Básico: También conocido como “de un día”. Es una inspección visual del lugar a auditar y un análisis de las facturas de consumos energéticos, luz, agua, gas... Se buscan patrones o comportamientos para comparar con otros edificios de similares

características. Es el que tiene un coste más bajo, pero sirve como una primera aproximación para tener una idea del ahorro potencial que se puede conseguir.

- Intermedio: Es más detallado que el nivel anterior, con análisis de los equipos, características de los sistemas, y un mejor estudio de las pérdidas. Se incluyen algunas medidas en el emplazamiento con instrumentos especializados. También se realiza un análisis económico de las distintas opciones de ahorro propuestas. En muchos casos puede ser suficiente con una auditoría de este nivel, ya que los costes de un análisis más complejo pueden no compensar los ahorros que se pueden obtener.
- Avanzado: Es el nivel más detallado en las auditorías. Se realiza para proyectos con grandes inversiones de capital, donde el coste energético es grande y se buscan ahorros para mejorar los resultados. Se relacionan pormenorizadamente los consumos con las distintas funciones. Se realizan todo tipo de mediciones en el lugar, así como simulaciones por ordenador para buscar un mayor ajuste.

2.2.2 El proceso de la auditoría

Una vez establecido el nivel con el que se quiere realizar la auditoría, se comienza a recopilar información sobre el lugar. Alguna información se puede obtener antes de la visita al emplazamiento, por ello es muy importante organizar cómo se va a realizar el estudio antes, durante, y después de la visita al objeto de estudio.

- Trabajo previo: Es muy efectivo para obtener más y mejores datos e ideas en el momento de la realización de la auditoría. Tareas a realizar: recopilación de datos de consumos energéticos de varios años previos. Estudio de picos y comportamientos estacionales. La presentación de estos datos en gráficos es muy útil. También es necesaria la obtención de características estructurales, arquitectónicas, de ocupación, edad del edificio, sistemas electrónicos.
- Visita a las instalaciones: Con el trabajo previo realizado se tendrá una mejor idea sobre en qué centrarse a la hora de inspeccionar la localización. Las tareas a realizar en la instalación son, entre otras, las siguientes: confirmar que los planos que tenemos son correctos, comentar con el responsable de la instalación los consumos energéticos, buscando explicaciones a los picos o consumos inusuales, pedir datos técnicos de las instalaciones existentes, tomar fotos del lugar, sobre todo del equipamiento, sistema de ventilación, calefacción, iluminación...
- Trabajo post – visita: Generalmente la organización de toda la información extraída durante la visita, pasar a limpio apuntes que se hayan tomado, desechar otras que no sean necesarias y apuntar porqué se desecharon. Todo esto es muy importante a la hora de realizar un buen informe.

2.2.3 El informe

Se identificarán los distintos sistemas energéticos, en qué situación están y cómo les afectarían las posibles mejoras. También se debe incluir el estado del edificio, en cuanto a estructura, envolvente, equipamiento, iluminación... con recomendaciones para mejorar su eficiencia mediante cambios en la operación y los mantenimientos. Cada uno de estas partes tendrá que tener su sección pormenorizada en el informe, con explicaciones suficientes para que se puedan llevar a cabo con garantías.

Es muy importante conocer quién va a ser el destinatario del informe, o si las distintas partes de éste están enfocadas a una persona u otra, ya que dependiendo de la formación del sujeto, habrá que adaptar el lenguaje y los contenidos para que sea comprensible.

2.3 *Calefacción urbana (District heating)*

Algunos países europeos, principalmente los nórdicos, han desarrollado un gran uso de la calefacción urbana. Ciudades como Moscú, Estocolmo, Varsovia o Helsinki tienen un sistema de distribución urbana de calor. Pero no sólo es común en Europa, otros lugares como Seúl, Nueva York o Indianápolis usan esta tecnología. Es una buena solución tanto ambientalmente como económicamente.

La calefacción urbana es un sistema de distribución calor a una ciudad completa o parte de ella. El calor es generado en una central térmica y distribuido como agua caliente presurizada hacia los distintos puntos de consumo. En éstos se instalan intercambiadores de calor, que toman la energía proveniente de la central y la usan para calentar agua caliente sanitaria, calefacción, o sistemas de ventilación.

El agua caliente abandona la central a una temperatura de 100 °C, retornando a unos 50 °C. Para prevenir que haya grandes pérdidas energéticas en el proceso de transporte, se necesita una red muy bien aislada. Normalmente se usan tubos de cobre, aluminio o acero recubiertos de espuma de poliuretano. Esta capa se protege con una barrera hecha de aluminio y polietileno de alta densidad. En la figura 2 se pueden observar las distintas capas que componen un tubo de distribución de agua caliente.



Figura 2. Tubos de calefacción urbana. [5]

Hay distintas maneras de generar este calor. Principalmente depende del lugar donde nos encontremos y el acceso a las fuentes primarias de energía que existan, pudiendo usar carbón, biomasa, o recursos nucleares... En Suecia, lugar donde se realizó este proyecto originalmente, el 47% de la generación de calefacción urbana proviene de fuentes renovables, prácticamente en su totalidad biomasa [6].

Pero existen más opciones para mejorar el rendimiento y el impacto medioambiental que tiene esta generación de calor, como, por ejemplo, la cogeneración. En los últimos años está teniendo un crecimiento notable como una forma de generación de calor para sistemas de calefacción urbana. La cogeneración es la generación simultánea de electricidad y calor útil al mismo tiempo, ya que las plantas tradicionales de generación eléctrica tienen calor residual pero no se puede usar para otros consumos. La principal ventaja de este tipo de sistemas es la gran eficiencia energética que tienen. Ésta puede aumentarse hasta un 35% frente a los sistemas que normalmente se usan y producen unos descensos en las emisiones de CO₂ del 50% [7]. En la figura 3 se puede observar el diagrama de un sistema de cogeneración, con la entrada de combustible y sus dos salidas, electricidad aprovechada a alta presión y calor tras haber turbinado el fluido de trabajo.

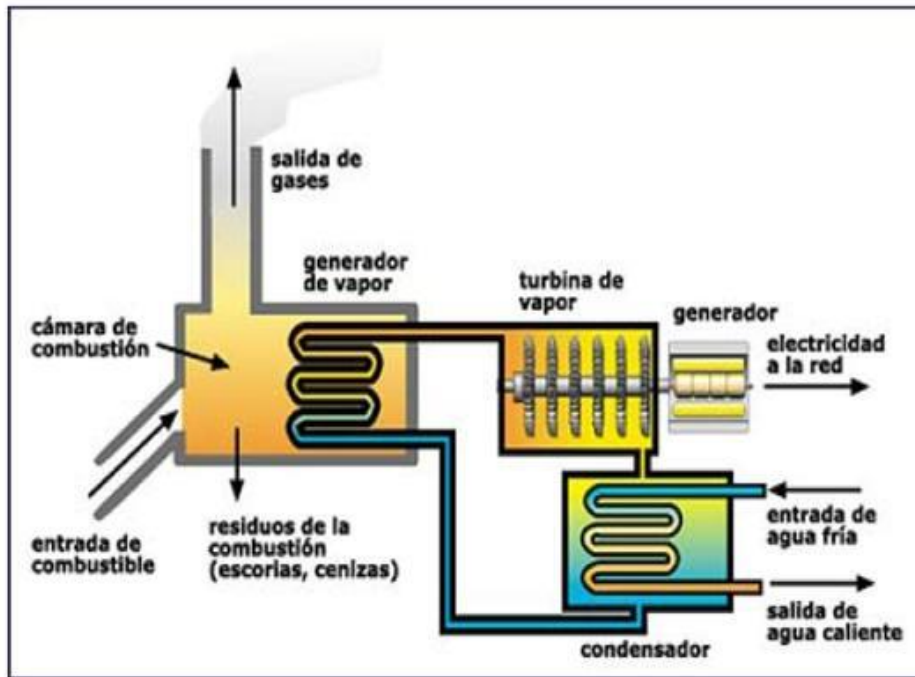


Figura 3: Sistema de cogeneración para calefacción urbana [8]

Por estas razones, la calefacción urbana es uno de los sistemas de distribución de calor más respetuosos con el medio ambiente y con los recursos naturales. Uno de los puntos fuertes de este tipo de sistemas es que sustituye todas las pequeñas generaciones de calor que individualmente tiene cada consumo, por una más grande y que supe a todos ellos. Esto conlleva que la contaminación que se genera en cada caldera doméstica, con chimeneas pequeñas, se emite directamente en las zonas de residencia de los usuarios, mientras que con una generación centralizada se emite alejada de la población y en chimeneas más elevadas, que mejoran su dispersión. Otra razón es que al estar la generación centrada en un lugar, se pueden concentrar los esfuerzos para mejorar su eficiencia, acción que es irrealizable en una generación dispersa.

2.4 Balance de energía en un edificio

Un edificio, desde el punto de vista energético, es un sistema cerrado con unas ganancias y unas pérdidas de energía a través de su contorno. Un balance energético aplicado a este sistema es una comparación entre estas ganancias (calefacción, luz solar) y pérdidas (transmisión, ventilación...), las cuales deberán coincidir en una situación estacionaria.

Los objetivos que persigue la realización de un balance energético son varios:

- Saber cuánta energía es necesario en un proceso.
- Conocer cuánta y cómo se está perdiendo esta energía a través del contorno del sistema.
- Saber dónde se pueden reducir las pérdidas.

Para mantener una determinada temperatura y una situación de confort dentro del edificio que se estudia, hay que introducir energía en forma de calor en su interior. Por supuesto, si se tratara de otra localización con temperaturas medias superiores, en los meses de verano habría que extraer calor del interior. La cantidad de esta energía que se tiene que utilizar depende de lo cuantiosas que sean las pérdidas en el sistema de estudio. Por ello es necesario conocer cómo es su sistema envolvente, paredes, tejado, ventanas... para saber cómo se comportará ante determinadas diferencias de temperatura entre el exterior y el interior.

Como ya se ha comentado, un balance energético consta de dos partes principales: energía de entrada y energía de salida. Cada una de estas partes está formada por diversos elementos:

1. Ganancias energéticas: para los cálculos en este proyecto se divide en dos grandes grupos: el calor generado externamente al sistema, y el generado internamente.
 - a. Calor generado externamente: es la energía que proviene de fuentes que no se encuentran en el interior del edificio. En este caso son dos, la calefacción urbana, de la cual se ha hablado en el apartado 2.2, y la radiación solar, que juega un papel muy importante en este tipo de estudios. Dependiendo de la orientación, latitud y el tipo de ventana, el calor que puede ganarse por esta razón varía enormemente.

Para ilustrar el fenómeno de las ganancias por radiación solar, se ha añadido la figura 4.

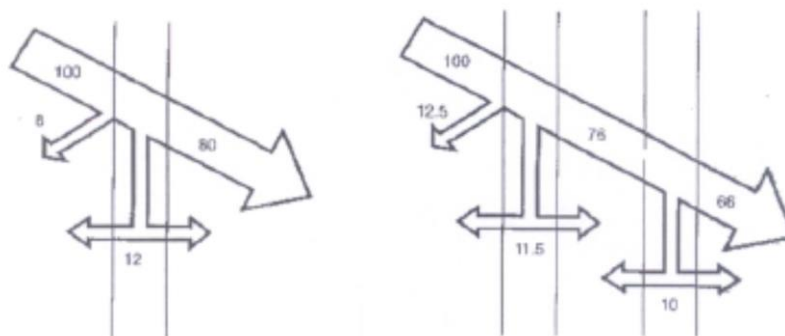


Figura 4: Radiación solar a través de cristal simple y cristal doble [9]

Se puede observar cómo no toda la energía proveniente del sol penetra hasta el interior, si no que parte es reflejada (ρ), otra absorbida por el cristal (α), y el resto transmitida (τ). Cada una de ellas depende de las propiedades de reflectividad, absorptividad y transmisividad que posea la ventana, las cuales a su vez dependen de las longitudes de onda de la radiación incidente y del ángulo de incidencia de la irradiación. La suma de todas ellas ha de ser igual a uno, es decir, contener toda la radiación llegada del sol [9].

Es muy importante hacer hincapié en el doble papel que juegan las ventanas en los balances de energía. Por un lado, son puntos por los que el calor entra al edificio durante las horas de luz solar, pero por otro lado también se producen a

través de ellas pérdidas muy importantes cuando la temperatura exterior es inferior a la interior. Sirva como ejemplo la figura 5:

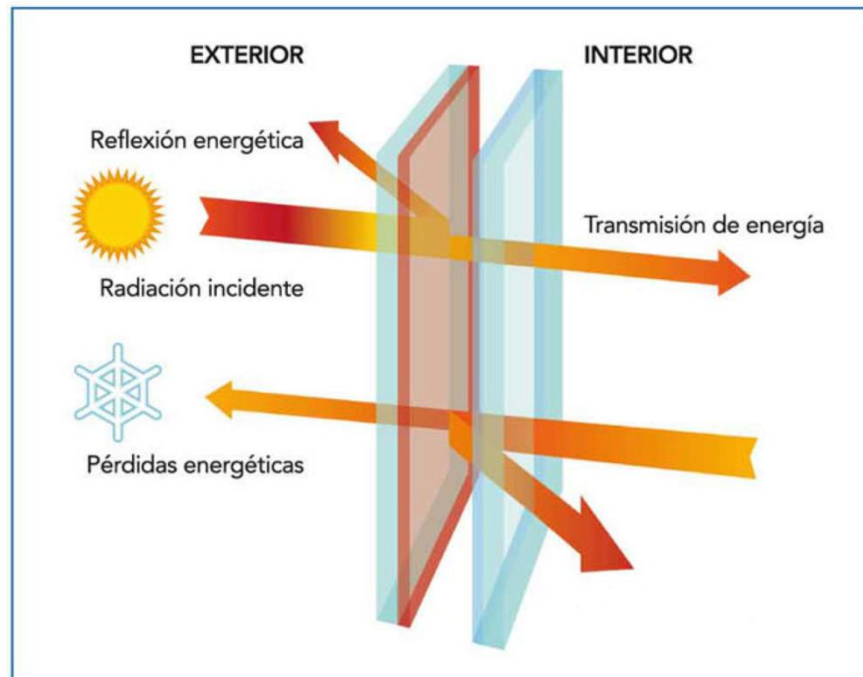


Figura 5: Ganancias y pérdidas de calor a través de una ventana [10]

- b. Calor generado internamente: en el interior de cualquier edificio susceptible de un estudio energético se estarán desarrollando distintas actividades, desde trabajos de oficina hasta industriales. Todas estas actividades conllevan un movimiento de personas, accionamiento de instrumentación eléctrica, funcionamiento de motores, los cuales tienen una generación de calor que también se tiene que tener en cuenta a la hora de realizar el balance. Esta aportación de energía no es continua, sí no que está condicionada a los momentos en los que la oficina esté abierta o las máquinas de la industria estén funcionando, por lo que se tiene que prestar una especial atención cuando se calculen las ganancias. Dependiendo de la localización del sistema a estudiar, esta fuente de energía puede ser beneficiosa, si el clima es frío, o perjudicial si el clima es cálido, ya que será necesaria una mayor refrigeración para mantener el edificio en valores de confort, con el consecuente coste económico y energético.
2. Pérdidas energéticas: al igual que en las ganancias, las pérdidas también están causadas por diversos factores:
 - a. Transmisión: las pérdidas por transmisión son las que se producen por el paso del calor a través del sistema envolvente del edificio, ya sean paredes, ventanas, puertas o tejado. Una distribución habitual de pérdidas de calor en una vivienda unifamiliar tipo es la que aparece en la figura 6:

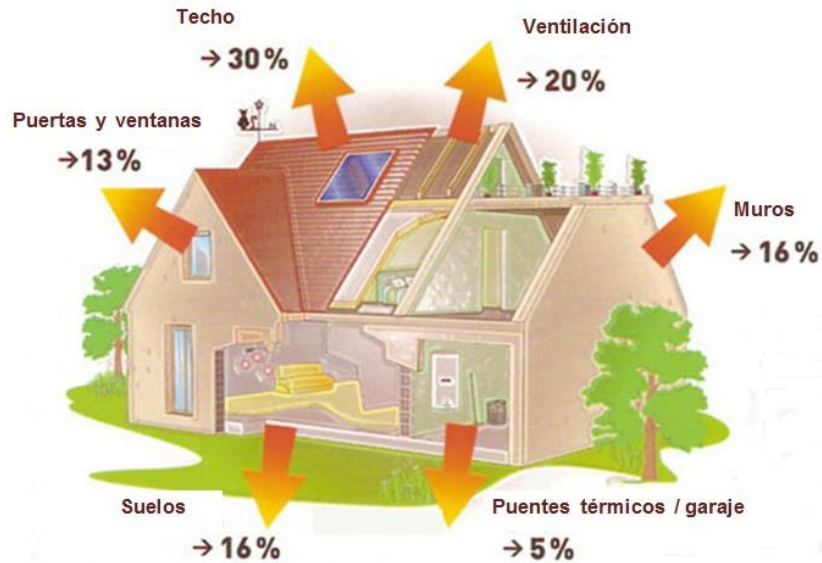


Figura 6: Distribución habitual de pérdidas de calor en una vivienda unifamiliar [11]

Están producidas por tres métodos de transferencia de calor: conducción, convección, y radiación. En el caso de los balances de energía en edificios, esta última no suele tenerse en cuenta, ya que su valor es despreciable frente a los otros. Se produciría, sobre todo, en el tejado durante la noche mientras la temperatura de éste fuera superior a la del entorno.

Con la ecuación número 1 se calcula cuanta energía se pierde por transmisión:

$$Q(W) = U \left(\frac{W}{m^2 * K} \right) * \Delta T(K) * A (m^2)$$

Ec. 1 [12]

- U: Coeficiente de transmisión de calor, es el inverso de la resistencia térmica R. Su valor es función de las propiedades de conducción, convección y radiación que tenga el material. Expresa cuanta energía atravesará el material por metro cuadrado y grado centígrado.
- ΔT : Diferencia en la temperatura del aire a ambos lados del material.
- A: Área del material donde se calculen las pérdidas por transmisión.

El valor de U se calcula de la siguiente manera:

$$U = 1/R_{eq}$$

Ec. 2

La $R_{equivalente}$ es el resultado de sumar todas las resistencias térmicas, teniendo en cuenta que algunas de ellas se encuentran en paralelo. En el siguiente capítulo, método y resultados, se mostrarán los diagramas usados para este edificio en concreto.

Las distintas resistencias necesarias para el cálculo del coeficiente de transmisión de calor son las siguientes, dependiendo del modo de transferencia de calor en cada caso.

- Conducción: $R_{\text{cond}} = L / K \text{ (m}^2 \cdot \text{K} / \text{W)}$

L: Espesor de la capa de material (m)

K: Conductividad térmica del material (W / m * K)

- Convección: $R_{\text{conv}} = 1 / h \text{ (m}^2 \cdot \text{K} / \text{W)}$

h: Coeficiente de convección térmica (W / m² * K)

- b. Ventilación: los edificios poseen sistemas de ventilación para renovar el aire interior. Este aire que entra del exterior está a una temperatura distinta a la del interior. En los meses en los que se realiza el cálculo de este proyecto, de septiembre a mayo, está por debajo de la temperatura interior. Por esta razón se pierde calor al ventilar, ya que se está expulsando aire caliente e introduciendo aire frío. Para reducir las pérdidas se hace uso de intercambiadores de calor, que precalientan el aire exterior. Los distintos tipos de intercambiadores de calor en sistemas de ventilación se muestran en la figura 7.

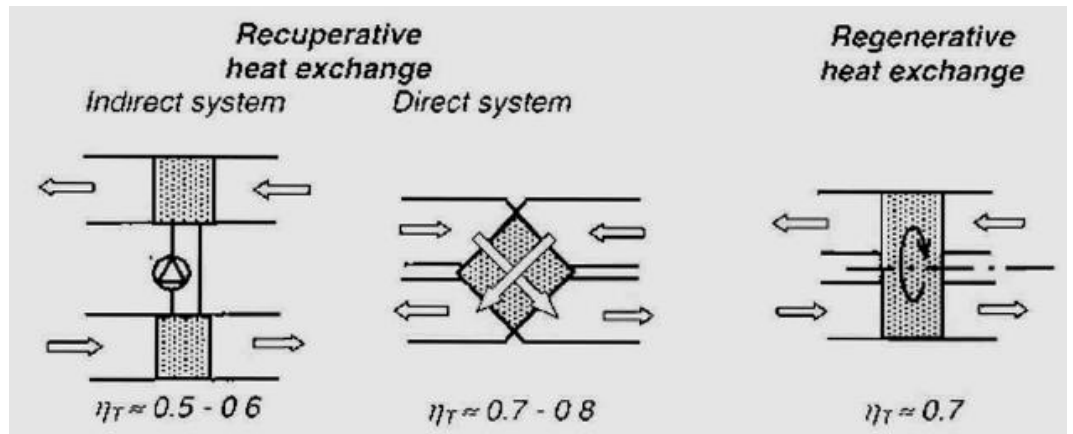


Figura 7: Tipos de intercambiadores en sistemas de ventilación y sus rendimientos [13]

Las pérdidas que se derivan del uso de la ventilación son las siguientes:

$$Q \text{ (kW)} = \rho \left(\frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \right) * v \left(\frac{\text{m}^3}{\text{s}} \right) * c_p \left(\frac{\text{kJ}}{\text{kg} * \text{K}} \right) * \Delta T \text{ (K)} * (1 - \eta_T) * \frac{\text{Horas funcionando}}{\text{Horas totales anuales}}$$

Ec. 3 [13]

- ρ : Densidad del aire.
- v : Caudal volumétrico de aire entrante.
- c_p : Calor específico del aire.
- ΔT : Diferencia de temperaturas de aire exterior e interior.
- η_t : Rendimiento térmico del intercambiador.

- c. Agua caliente sanitaria: aunque no supone una pérdida excesiva, es necesaria tenerla en cuenta, ya que en edificios como el que aquí se estudia, conectado a la calefacción urbana, el agua se calienta haciendo uso de ese sistema. Las pérdidas asociadas a este factor se calculan siguiendo la ecuación 4:

$$Q(kW) = cp \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) * v \left(\frac{m^3}{s} \right) * \Delta T(K)$$

Ec. 4

- d. Infiltraciones y ventilación natural: se producen por grietas en la estructura, fallos en las ventanas, momentos en los que se abren puertas o ventanas... Es una parte importante de las pérdidas que no se pueden calcular de una manera sencilla, o ajustada, al menos directamente. Por ello se usan para cerrar el balance, igualando pérdidas y ganancias.

3 Proceso y resultados

En este capítulo se analizarán y mostrarán los cálculos realizados para completar el balance de energía, realizado con valores medios históricos.

Los cálculos se han hecho para el período de uso de la calefacción, que dura desde mitad de septiembre hasta mitad de mayo. Aunque la calefacción se pueda usar también fuera de este segmento temporal se suelen tomar estas fechas para la realización de estos análisis, ya que muchos valores tabulados se han calculado en este período y porque es el momento más crítico en cuanto a uso de la energía se refiere, y por ello más representativo.

El presente capítulo dividirá en: ganancias energéticas, pérdidas, balance de energía y comparativa.

3.1 *Ganancias energéticas*

En este apartado se detallarán las diferentes fuentes de calor que tiene el emplazamiento. Estas son: calefacción urbana, radiación solar y calor libre, proveniente de las actividades realizadas en el interior del edificio así como del calor desprendido de los aparatos eléctricos.

3.1.1 Calefacción urbana

El calor recibido con este sistema se usa en el sistema de calefacción para calentar el edificio y para el agua caliente sanitaria (de aquí en adelante ACS). El ACS es considerado una pérdida, ya que parte de esa energía que llega se usa para calentar el agua corriente, de tal manera que se calculará en el siguiente capítulo 3.2 pérdidas energéticas y se restará en el balance para tenerlo en cuenta.

La demanda de energía en la calefacción urbana ha sido de 191,9 MWh en 2012 y 193,2 MWh en 2013, mientras que hasta abril de 2014 fue de 100,4 MWh (Apéndice 1). Para tomar un valor en los cálculos, se ha usado la media de los dos años completos, resultando **192,6 MWh**.

3.1.2 Radiación solar

Las ventanas tienen un papel doble en el cálculo del balance de energía. Por un lado la radiación solar las atraviesa contribuyendo a la absorción de energía, pero por otro son puntos por donde se pierde energía, debido a su peor aislamiento térmico con respecto al resto del sistema envolvente del edificio (paredes, suelo y tejado). En este apartado se calculará su contribución a la parte de las ganancias energéticas.

Para calcular la radiación energética se tienen en cuenta los datos que aparecen en el Apéndice 2, donde aparecen valores medios de radiación diaria por metro cuadrado y orientación. Por ellos es necesario multiplicarlos por el número de días que tiene el mes, el coeficiente de transmisividad de las ventanas, el factor de días nublados de cada mes y el área que tienen las ventanas de cada orientación como puede verse en la ecuación 5:

$$Q(Wh) = I \left(\frac{Wh}{\text{día} * m^2} \right) * \frac{\text{días}}{\text{mes}} * \text{Coef. transmisividad} * \text{Factor nublado} * \text{Area} (m^2)$$

Ec. 5

- I es la radiación media diaria, en valores energéticos (Wh) por metro cuadrado. Este valor depende de diversos factores: el tipo de construcción de la ventana, la orientación y la época del año. Se diferencia entre dos tipos de construcción, como se muestra en la figura 8.

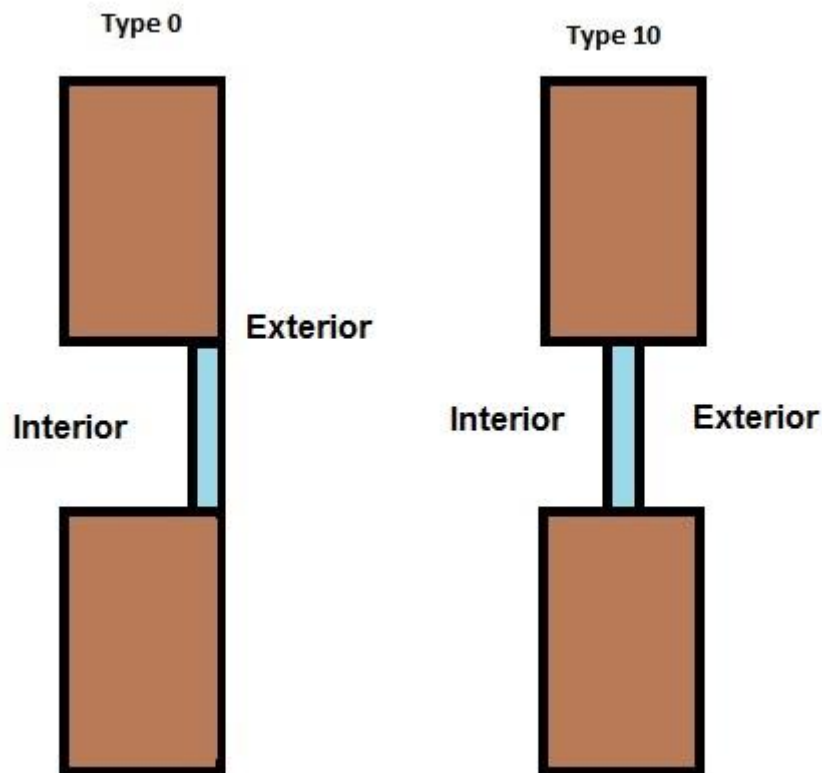


Figura 8: Tipos de construcción de las ventanas

En el caso concreto de la iglesia, todas las ventanas están montadas sin llegar al límite de la pared en su cara externa, es decir, que son del tipo 10.

En cuanto a la orientación, en la figura 9 se pueden apreciar cómo están orientadas las distintas paredes del edificio:

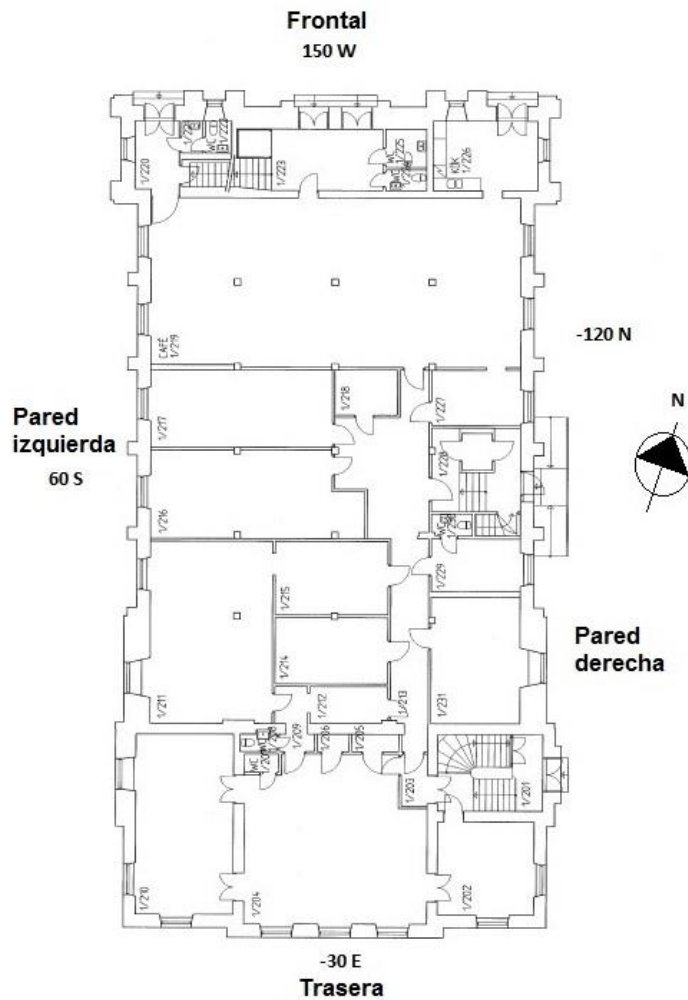


Figura 9: Orientación de las paredes.

Una vez conocido el tipo de las ventanas y su orientación, se puede hacer uso de la tabla que aparece en la séptima página del Apéndice 2. Esta búsqueda resulta en la tabla 2, la cual se muestra a continuación.

Tabla 1: Radiación por orientación y mes (Ap. 2).

	Zona	Fronte (Wh/m ² *día)	Pared drcha. (Wh/m ² *día)	Trasera (Wh/m ² *día)	Pared izq. (Wh/m ² *día)
Mes	Tipo \ Orient.	150 W	120 N	30 E	60 S
Enero	10	70	70	180	140
Febrero	10	340	400	3.530	2.240
Marzo	10	730	1.290	5.290	3.920
Abril	10	1.640	2.810	6.160	5.420
Mayo	10	2.570	3.910	5.920	5.840
Septiembre	10	1.070	1.930	5.580	4.530
Octubre	10	480	650	4.290	2.850
Noviembre	10	160	160	1.590	990
Diciembre	10	40	50	120	90

Como se ha dicho al comienzo de este capítulo, sólo se han tenido en cuenta los meses del período de calefacción. Para poder hacer un análisis más sencillo de estos datos, se han realizados las siguientes gráficas, 2 y 3. En la gráfica 2 se puede ver cómo varía la radiación solar con la época del año (se ha usado la orientación original del edificio y también se han incluido los meses de verano, aunque éstos no se usen en el cálculo posterior). La gráfica 3 muestra cómo varía esta radiación dependiendo de la orientación de las ventanas.

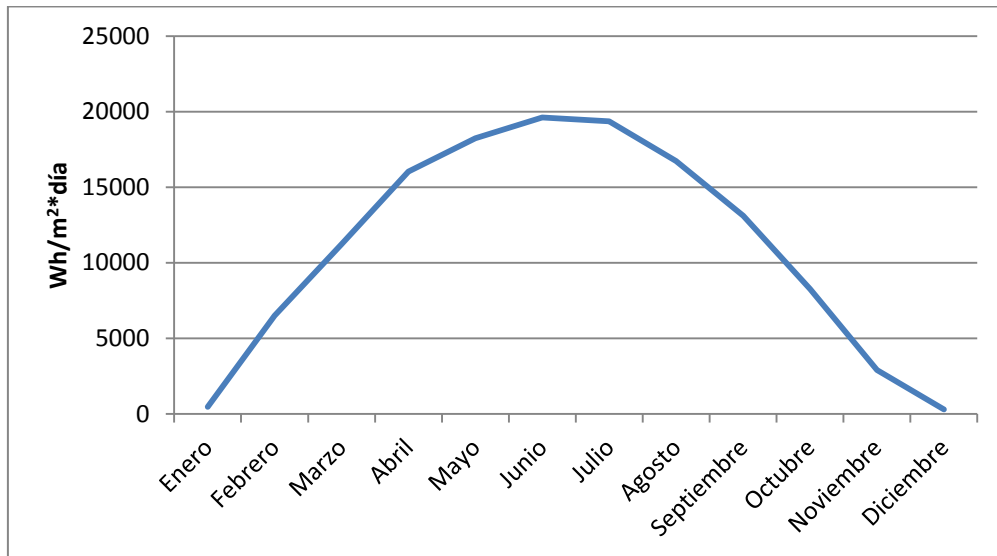


Gráfico 2: Radiación en las distintas épocas del año.

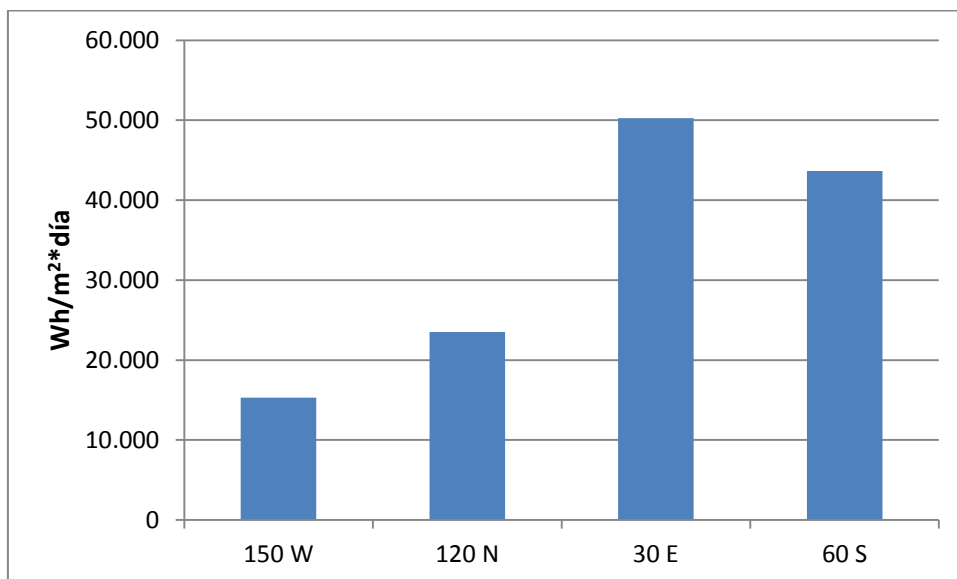


Gráfico 3: Radiación respecto a cada orientación.

Se puede observar la gran importancia que tiene el hecho de la época del año que se considere, ya que la radiación varía mucho. En la latitud a la que se encuentra el edificio (60° N), la incidencia del sol es prácticamente nula en invierno, por ello la radiación es tan baja. Al mismo tiempo es de gran importancia cómo están orientadas las ventanas. La energía que se puede aprovechar del Sol es mucho mayor cuanto más hacia el sur se

coloquen las ventanas. En un clima tan frío como en el que se encuentra el objeto de estudio, este factor resulta primordial a la hora de planificarla construcción de cualquier edificio.

- Coeficiente de transmisividad: hace referencia a la parte de energía que atraviesa el cristal y llega al interior del edificio. El valor en el caso de estudio es 0,8 (Apéndice 2).
- Factor de nublado: se aplica para tener en cuenta los días en los que el cielo no está despejado, y por tanto la energía que incide sobre la superficie es menor. En la tabla 2 se muestra el valor de este coeficiente en los distintos meses.

Tabla 2: Factor de nublado (Ap. 2)

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
0,45	0,49	0,58	0,58	0,63	0,58	0,51	0,42	0,43

- El área que ocupan las ventanas se ha calculado haciendo uso del software Autodesk Design Review. Se muestran los resultados en la tabla 3, ordenados dependiendo de su orientación.

Tabla 3: Área que ocupan las ventanas en cada orientación (Ap. 2)

Orientación	150 O	-120 N	-30 E	60 S
Área (m ²)	18,3	77,5	61,8	67,5

Una vez conocidos todos los elementos de la ecuación 5 se calculan las ganancias energéticas por radiación solar. Para una resolución más sencilla, se calcula primero cada orientación por separado, para después sumarlas. Se ha reordenado la ecuación 5 como se muestra en la ecuación 6 para ello. Los resultados se muestran en la siguiente tabla, la número 4.

$$Q_{orient} = Area_{orient} * Transmisividad * \sum_{n=Ene}^{Dic} (I_n * Dias_n * Factor\ de\ nublado_n)$$

Ec. 6

Tabla 4: Ganancias totales por radiación solar

Orientación	150 O	-120 N	-30 E	60 S	TOTAL
Energía (MWh/año)	1,4	9	22,1	18,9	51,4

3.1.3 Calor libre

En este apartado se concentran todas aquellas fuentes de calor “involuntarias”: el que emanan las personas en las actividades que se realizan en el interior del edificio y el correspondiente al uso de los aparatos eléctricos, como luces o material de oficina.

- Energía procedente de las actividades humanas: el edificio tiene muy diversos usos, desde conciertos, teatro, talleres, cafetería, salas de ensayos, reuniones... Por ello, se ha

tomado un coeficiente de emisión de calor del cuerpo humano de 1,2 met, que es valor medio y coherente con las actividades que se realizan (1 met = 58,1 W/m²) [14]. Para calcular la energía se ha tenido en cuenta que el número de horas anuales sumando todas las personas que han participado en todas las actividades asciende a 25.000 [15]. Conociendo este dato y sabiendo que una persona media tiene una superficie de 1,8 m² [16], se llega a la conclusión de que el calor obtenido por esta parte es:

$$25.000 h * 58,1 \frac{W}{m^2 * met} * 1,2 met * 1,8 m^2 * \frac{10^{-6} MWh}{W} = 3,1 MWh$$

- Energía procedente del uso de aparatos eléctricos: dada la antigüedad del edificio se deriva una gran falta de información acerca de la cantidad y el tipo de los aparatos eléctricos que hay en su interior, por ello se ha decidido dar una estimación de que el 100% del consumo eléctrico se convierte en calor. Esta suposición se lleva a cabo basándose en que la mayoría de los aparatos son luminarias con una cierta antigüedad, refrigeradores de la cafetería y aparatos de cocina. En el Apéndice 1 se puede comprobar que el consumo eléctrico anual medio es de: 85,3 MWh. Por lo tanto, el calor generado por los distintos componentes eléctricos es: 85,3 MWh

El total de calor libre es, por tanto: **85,3 MWh + 3,2 MWh = 88,5 MWh**

En la tabla 5 se muestran a modo de resumen las diferentes ganancias y se realiza la suma de todas ellas.

Tabla 5: Resumen ganancias.

Calefacción urbana	Radiación	Calor libre	TOTAL
192,6 MWh	51,4 MWh	88,5 MWh	332,5 MWh

Se puede ver en el gráfico 4 cómo la gran mayoría de las ganancias están constituidas por la calefacción urbana, alrededor del 58%.

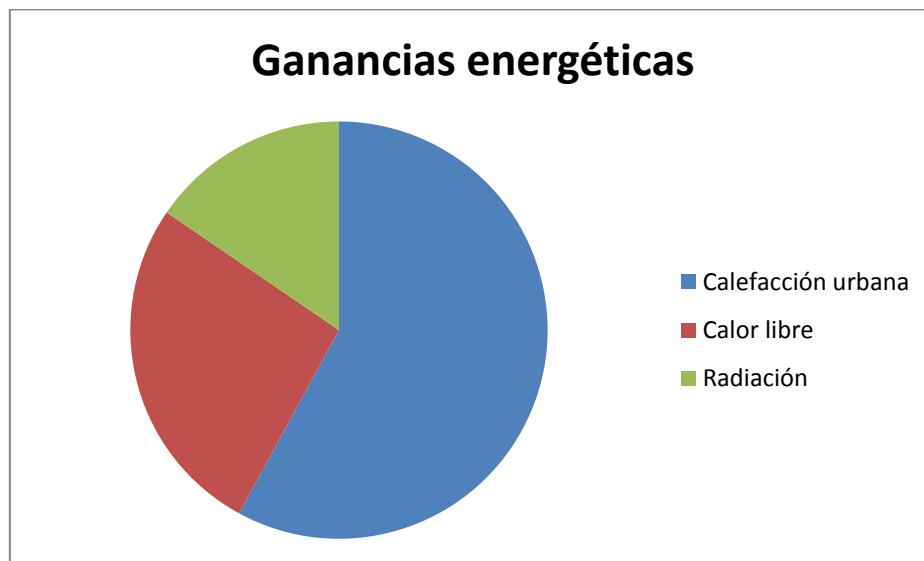


Gráfico 4: Reparto de ganancias energéticas

3.2 Pérdidas energéticas

En este capítulo se desglosarán las distintas pérdidas energéticas que tiene el edificio. Estas son: transmisión, agua caliente sanitaria, ventilación e infiltración.

3.2.1 Transmisión

Para poder analizar este apartado con detalle, se dividirá el sistema envolvente del edificio en sus distintos elementos: paredes, ventanas, suelo y techo.

En todos ellos se ha aplicado la ecuación número 7 para calcular las pérdidas por transmisión.

$$Q_{trans} \left(\frac{MWh}{año} \right) = U \left(\frac{W}{m^2 * K} \right) * Area \left(m^2 \right) * Grados \text{ hora} \left(\frac{K * h}{año} \right) * 1 MWh / 10^6 Wh$$

Ec. 7

- U: coeficiente global de transferencia de calor, se calcula individualmente en cada apartado, excepto en las ventanas que ya se contaba con un valor tabulado. Estos cálculos se muestran con detalle en el Apéndice 4.
- Area: se han calculado haciendo uso del software Autodesk Design Review (Apéndice 3).
- Grados hora: son el resultado de multiplicar las diferencias entre la temperatura exterior e interior haciendo uso de medias históricas por el número de horas que éstas ocurren. En este trabajo se toman valores tabulados calculados previamente, se muestran en el Apéndice 5. Este tipo de datos se usan para dimensionar sistemas de calefacción.

3.2.1.1 Paredes

Para poder hacer un cálculo más exacto, las paredes se han dividido dependiendo de su grosor, ya que éste tiene grandes variaciones. Los resultados se muestran en la tabla número 6 y en el Apéndice 4.

Tabla 6: Área que ocupan los distintos espesores de pared

Espesor (m)	0,6	0,9	1,3	1,4
Área (m ²)	1.065	50,4	131,4	36,4

Para calcular el valor del coeficiente de transmisión de calor U, hay que saber cómo están construidas las paredes y el valor de la resistencia térmica por convección interior y exterior. Todas tienen una capa de cemento y yeso, de 3 y 2 centímetros respectivamente. El resto del grosor de la pared está formado por ladrillos. Los valores de conductividad térmica de cada uno de estos materiales son: 0,93 y 0,43 (W/m*K) [17] para cemento y yeso, respectivamente, y para los ladrillos 0,55 (W/m*K) [18], [19]. El valor total de la resistencia térmica por convección es de 0,17 (m²*K/W) [20].

Para encontrar el valor de los grados hora, tomamos la tabla y los valores de temperaturas medias interior y exterior. Sabiendo que la temperatura media interior del edificio ronda los 18 °C, y que la media exterior es de 5 °C (Ap. 5), el valor de los grados hora asciende a 109.100 K*h/año.

Con todos estos datos se llega al resultado de **96,5 MWh/año** de pérdidas por transmisión a través de las paredes.

3.2.1.2 Ventanas

En este apartado se vuelve a hacer uso de la ecuación 7. El área de las ventanas ya se ha calculado previamente en el apartado 3.1.2, cuyo total asciende a $225,1 \text{ m}^2$. El valor del coeficiente global de transmisividad es $2,9 \text{ (W/K}\cdot\text{m}^2)$ (Ap. 2), en él ya se tiene en cuenta tanto conducción como convección. Finalmente, los grados hora coinciden con el apartado anterior, $109.100 \text{ K}\cdot\text{h}$.

Con todo ello, el total de pérdidas térmicas a través de las ventanas asciende a **71,2 MWh/año**.

3.2.1.3 Tejado

En este caso, los valores a aplicar en la ecuación 7 son los siguientes: el área asciende a 1.110 m^2 . Los grados hora son similares a los dos apartados anteriores, $109.100 \text{ K}\cdot\text{h}$. Para el cálculo del coeficiente global de transmisividad térmica hay que saber que el techo está hecho de tablas de madera de pino ($0,11 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [17]) de 24 cm de espesor, con una lámina de metal de 1 cm en la parte exterior (se ha supuesto hierro como material, con un coeficiente de conductividad térmica de $47,7 \text{ W/m}\cdot\text{K}$ [17]). La resistencia interna y externa de convección es $0,14 \text{ (m}^2\cdot\text{K/W)}$ [20].

El resultado para las pérdidas térmicas en el tejado es **52,1 MWh/año**.

3.2.1.4 Suelo

Para calcular las pérdidas a través del suelo, hay que tener en cuenta que el edificio tiene un sótano, por lo tanto los cálculos varían. Este apartado se divide en tres partes: pared del sótano que queda por encima del nivel de la calle, la que queda por debajo de este nivel y el suelo del sótano. La siguiente imagen ilustra esta división:

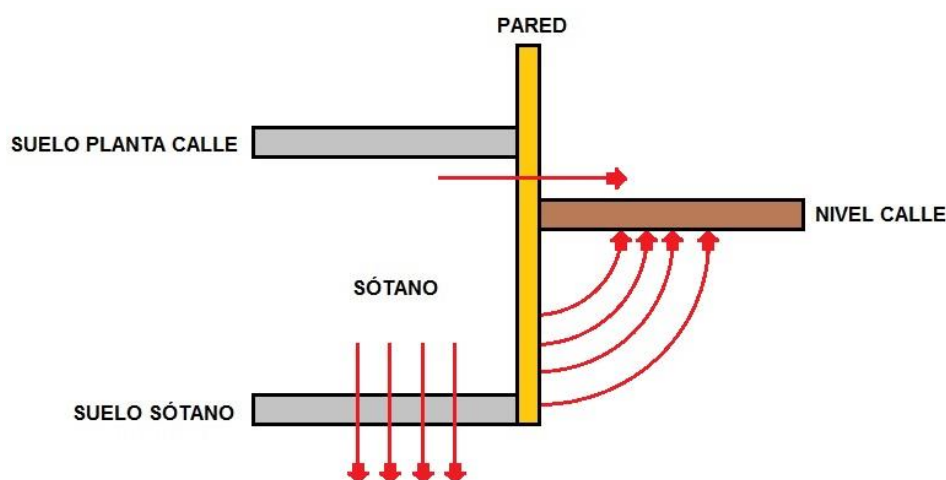


Figura 10: Pérdidas de calor a través de la envolvente del sótano.

El primero de ellos ya ha sido calculado en el apartado 3.2.1.1 donde se hace referencia a las pérdidas a través de las paredes.

En el segundo caso, hay que tener en cuenta la profundidad a la que llega esta pared por debajo del nivel de la calle. En este caso se alcanzan 1,4 metros de profundidad. Esto es necesario para estimar un coeficiente global de transferencia de calor, U, que tenga en cuenta también el suelo que atraviesa el calor hasta que llega a la zona exterior del edificio. Para ello se hace uso de la siguiente gráfica, número 5.

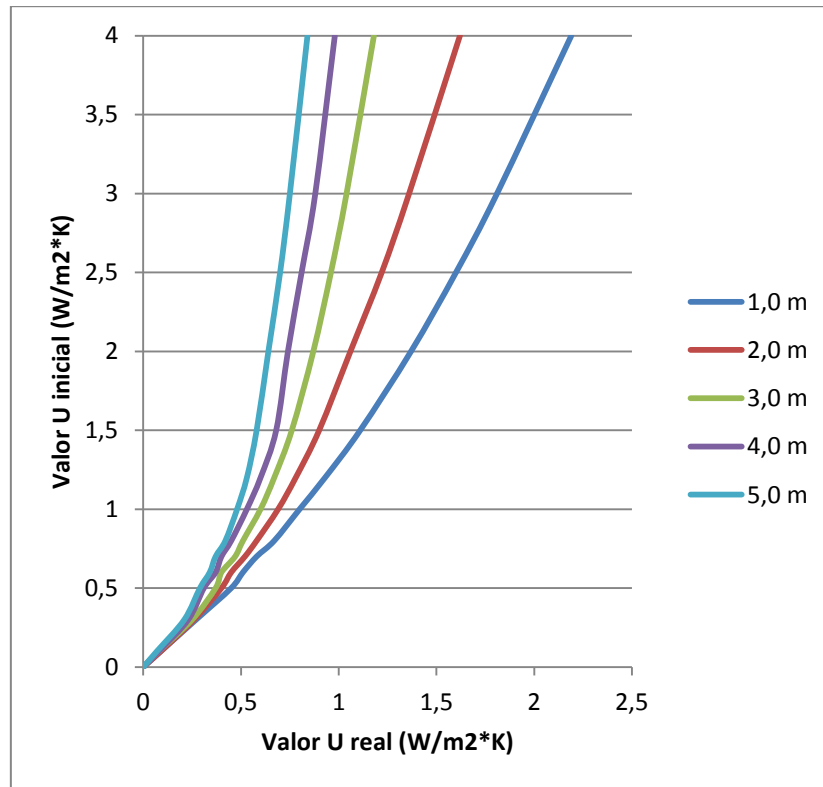


Gráfico 5: Comparación entre valores U de pared y valores reales, dependiendo de la profundidad [21]

Para hacer uso de esta gráfica hay que calcular primero los valores U de la pared, para posteriormente, con este valor y el de la profundidad, sacar el nuevo valor U corregido. Las paredes del sótano tienen la misma composición que las del resto del edificio, pero con distinto espesor. En la tabla 7 se muestran los valores U calculados y los corregidos, así como el espesor y el área.

Tabla 7: Valores U iniciales, corregidos, áreas y espesores.

Espesor pared (m)	Área (m ²)	U total (W/m ² *K)	U real (W/m ² *K)
0,9	9,8	0,53	0,4
1,1	16,7	0,45	0,38
1,4	23,9	0,36	0,33
1,5	5,7	0,34	0,32
1,6	59,4	0,32	0,3

La temperatura en el interior del sótano es igual, por lo que el valor de grados hora se mantiene igual que en apartados anteriores, 109.100 K*h.

El calor cedido por esta parte es **4,1 MWh/año**.

El último caso son las pérdidas de calor a través del suelo del sótano. Ante la dificultad para saber exactamente la profundidad y el material del que estaba compuesto el suelo, se decidió, conjuntamente con los técnicos de Gavlefastigheter (encargada de la conservación del edificio) poner un valor U de 0,8 W/m²*K. El área del suelo del sótano asciende a 498,5 m² y el valor de los grados hora es el mismo, 109.100 K*h. Con todo ello obtenemos unas pérdidas de **43,5 MWh/año**.

Por lo tanto, las pérdidas a través del sótano (pared y suelo bajo el nivel de la calle), ascienden a **47,6 MWh/año**

Como conclusión a las pérdidas por transmisión, se muestra la tabla 8, donde se resumen todos los valores obtenidos.

Tabla 8: Pérdidas por transmisión.

Elemento	Pérdidas (MWh)	Porcentaje (%)
Paredes	96,5	36,1
Ventanas	71,2	26,6
Techo	52,1	19,5
Suelo	47,6	17,8
Total	267,4	

3.2.2 Agua Caliente Sanitaria (ACS)

El calentamiento del agua corriente supone un gasto de energía, ya que se eleva su temperatura haciendo uso del calor que proviene por la calefacción urbana.

Normalmente, se toma como valor para estimar el consumo de agua caliente un tercio del agua total consumida. En el Apéndice 1 se pueden ver los consumos de agua del año 2.012 y 2.013. Se toma el valor medio a estos dos, restando el período de verano donde no se tienen en cuenta las pérdidas, 266,8 m³/año. Por lo tanto el consumo de agua caliente será de 80,04 m³.

Para obtener el gasto en calor se aplica la ecuación 8.

$$\text{Calor ACS (MWh)} = \text{Consumo (m}^3\text{)} * \Delta T \text{ (K)} * c_p \left(\frac{J}{kg * K} \right) * \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) * \frac{MWh}{3,6 * 10^6 kJ}$$

Ec. 8

- ΔT es el incremento de temperatura. El agua llega a 5 °C y se eleva hasta 55 °C, por lo tanto es 50 °C.
- El cp (calor específico) del agua es 4,18 kJ/kg*K.
- Su densidad es (aproximadamente) 1.000 kg/m³.

Con todo ello, el resultado es **4,6 MWh/año**.

3.2.3 Ventilación

Hay tres sistemas de ventilación en el edificio. El conjunto de los tres tiene un caudal de 1 m³/s

Para calcular las pérdidas por ventilación, se aplica la ecuación 9:

$$Q (MWh) = \rho \left(\frac{kg}{m^3} \right) * q \left(\frac{m^3}{s} \right) * cp \left(\frac{kJ}{kg * K} \right) * Grados\ hora(Kh) * (1 - \eta_T) * \frac{Horas\ funcionamiento}{Horas\ totales} * \frac{1\ MWh}{3,6 * 10^6\ kJ} * \frac{3600\ s}{1\ h}$$

Ec. 9

- ρ: la densidad del aire: 1,26 kg/m³.
- q: el caudal: 10 m³/s
- cp el calor específico del agua: 1 kJ/ kg* K
- Grados hora: 109.100 K*h.
- η_T es el rendimiento del de intercambiador de calor entre la corriente que es absorbida del interior y la que entra del exterior: 0,7 (intercambiador regenerativo, Apéndice 6).
- Horas de funcionamiento: se puede ver en el Apéndice 6 que el horario de funcionamiento del sistema es de lunes a viernes de 10:00 a 12:00. Esto son 346 horas en el período de uso de la calefacción. Las horas totales ascienden a 5.808.

Conocidos todos estos datos, las pérdidas por ventilación ascienden a **24,6 MWh/año**.

3.2.4 Infiltración y ventilación natural

Dada la dificultad que existe en los cálculos de este apartado, se realizará en el cierre del balance, con la diferencia entre ganancias y pérdidas.

Esta simplificación no es la mejor para realizar un balance, pero es aceptable por que supone un valor moderado frente al total de las pérdidas.

Como resumen final del apartado de pérdidas, se muestra la tabla 9, donde se muestran todos los apartados y la suma total.

Tabla 9: Resumen de pérdidas

Pérdidas	MWh/año
Transmisión	267,4
Vent	24,6
ACS	4,6
Total	296,6

3.3 Balance energético

Una vez calculadas las pérdidas y las ganancias, se procede a realizar el balance energético.

En la tabla 10 se puede ver como el valor de las ganancias es superior al de las pérdidas, esto es porque faltan por contabilizar las infiltraciones y la ventilación natural. El cálculo de las mismas se incluye en la tabla.

Tabla 10: Balance energético

Ganancias (MWh/año)	Pérdidas (MWh/año)	Infiltraciones Ventilación natural (MWh/año)
332,5	296,6	35,9

Al haber estimado las infiltraciones y la ventilación natural como la diferencia entre ganancias y pérdidas, también se están teniendo en cuenta multitud de incertidumbres.

De esta manera, ya se puede tener un gráfico completo de las pérdidas (número 6).



Gráfico 6: Pérdidas energéticas.

Se puede observar como la gran mayoría de las pérdidas (80 %) corresponden a la transmisión.

No es lo habitual, pero dadas las características constructivas del edificio y su antigüedad, se podría suponer que se llegaría a este resultado.

A la vista de estos números, cobra aún más sentido la realización de este trabajo, y, sobre todo, el siguiente capítulo, las medidas de ahorro energético.

4 Medidas de eficiencia energética

Como se ha podido ver el capítulo anterior, el edificio sufre muchos problemas de pérdidas por transmisión, por ello será el principal elemento a tener en cuenta para realizar las medidas de eficiencia.

En el gráfico 7 se puede ver cómo se dividen estas pérdidas por transmisión:

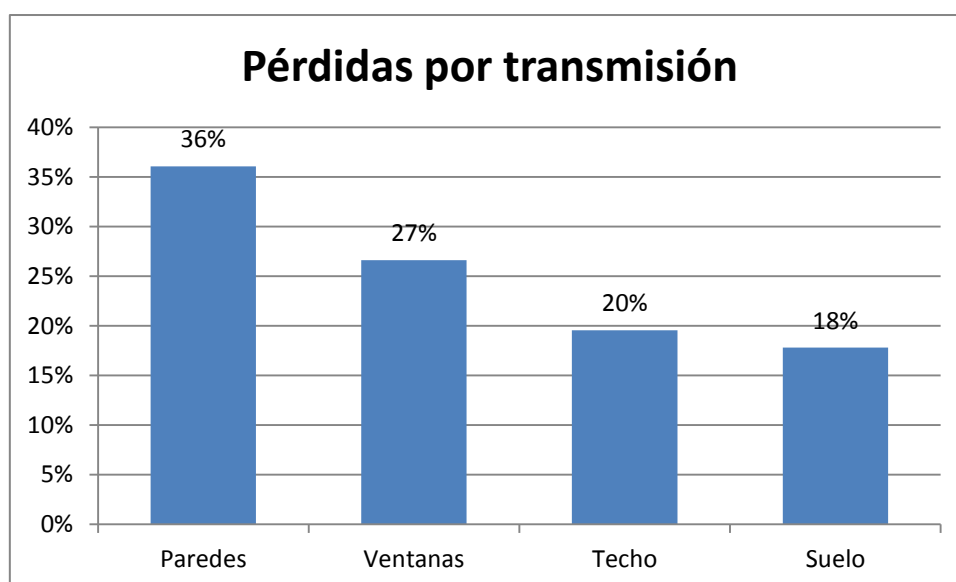


Gráfico 7: reparto de pérdidas por transmisión.

Queda claramente expuesto como más de la mitad de las pérdidas energéticas se producen a través de paredes y ventanas. Este resultado es lógico dada la gran área que ocupan las primeras y el mal aislamiento de las segundas. Es por ello que se analizarán en primer lugar.

Los materiales necesarios para las reformas, así como los precios por m² y sus características físicas se han obtenido gracias a una herramienta online que facilitada por CYPE Ingenieros S.A. [22].

4.1 Paredes

Para reducir las pérdidas en las paredes la solución es reducir su coeficiente global de transmisión térmica, y para ello tenemos que aumentar su aislamiento.

Existen múltiples soluciones en el mercado que hacen uso de unos u otros materiales, y que pueden ser tanto prefabricados como elementos individuales. Para este edificio se ha decidido analizar las placas prefabricadas ISOVER Calibel (Apéndice 7), que está formado por un panel de lana de vidrio de 40 mm y una placa de yeso laminado de 13 mm que sirve como protección. Este conjunto tiene una resistencia térmica de 1,56 m²K/W.

Con este revestimiento se conseguiría un ahorro energético de **47,7 MWh/año**, lo que supone **reducir las pérdidas a través de las paredes en un 49 %, y un 17% en el total de las pérdidas.**

Para que el análisis sea completo, se estima el período de recuperación que tendría esta mejora.

Este material tiene un precio por m² de 43,45 € (Apéndice 7), incluidos materiales adicionales como pintura, cinta para juntas, pasta de agarre... y mano de obra. El total de la reforma ascendería a **55.755 €**.

El precio del MWh de calor es de 49,32 € [23], por lo que el ahorro en térmicos económicos es de **2.351 €/año**.

Con ello, el período de retorno es: $55.755 \text{ €} / 2.351,9 \text{ €/año} = \mathbf{23 \text{ años y } 8 \text{ meses}}$.

4.2 Ventanas

El siguiente elemento envolvente del edificio a través del cual se producen más pérdidas son las ventanas. Éstas tienen unas pérdidas de 71,2 MWh/año. Por ello se va a analizar la mejora que supondría el cambio del tipo de éstas y de su colocación con respecto a la pared, con el objetivo de aumentar tanto su aislamiento como la radiación que absorben.

Para ello se han tenido en cuenta que las nuevas ventanas serán de doble cristal con tratamiento aislante (climalit). El valor U es de 1,2 (W/m²*K), y la transmisividad 0,7 (apéndice 2 y [21]).

Con esto el ahorro resultante es de **46,2 MWh/año**, de lo que 41,8 MWh corresponden a la reducción de pérdidas por transmisión y 4,4 MWh al aumento de la radiación solar que entra al edificio al haber cambiado la colocación de las ventanas. **Esto supone una reducción del 65% en las pérdidas por transmisión correspondientes a las ventanas y un 16% en el cómputo global**. A este ahorro cabe sumarle parte de las pérdidas por infiltraciones, ya que las ventanas tienen marcos bastante antiguos y deteriorados, y la colocación de unos nuevos supondría una gran mejora en el cerramiento. Un valor adecuado sería una reducción del 40%, dada la gran cantidad de ventanas y el tamaño de las mismas. Esto son **14,3 MWh/año** que se evita perder. Con lo que el ahorro final ascendería a **60,5 MWh/año**.

Traducido en términos económicos, el ahorro anual es de **2.982 €**.

Se ha estimado que el precio del metro cuadrado, teniendo en cuenta materiales y mano de obra, asciende a 300 €/m². Con ello hace una inversión total de **67.530 €**.

El período de retorno es: $67.530 \text{ €} / 2.278,6 \text{ €/año} = \mathbf{22 \text{ años y } 7 \text{ meses}}$.

4.3 Techo

Siguiendo el orden establecido en el capítulo, el siguiente elemento a considerar sería el techo. En este caso, las pérdidas ascienden a 52,3 MWh/año.

En este caso se usará la fibra de vidrio de KNAUF INSULATION Manta Kraft TI 212, para colocar en la parte interna del techo. Tiene un espesor de 80 mm. Está tratado para evitar problemas de humedad y moho, que podrían causar tanto daños estructurales como de la salud de los usuarios del edificio.

Este producto tiene una resistencia térmica de $2 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$ (Apéndice 7), por lo que se conseguiría un ahorro energético de **24,2 MWh/año. Esto supone un descenso del 46% en las pérdidas particulares del techo, y un 9% en el global de pérdidas por transmisión.**

El ahorro económico derivado de esta mejora energética es de **1.193 €/año.**

El precio del producto, con otros materiales necesarios y mano de obra, asciende a $6,7 \text{ €/m}^2$. Por lo que el total de la colocación es de **7.565 €.**

Siendo su período de recuperación $7.565 \text{ €} / 1.193 \text{ €/año} = \mathbf{6 \text{ años y } 4 \text{ meses.}}$

4.4 Suelo del sótano

Es el último de los elementos que configuran las pérdidas por transmisión, y el que menos influencia tiene en el total, un 18%. Para mejorar el aislamiento, hay dos soluciones: la primera es excavar para retirar los materiales existentes del suelo y colocar otros con mejores comportamientos térmicos. Como se puede suponer esta es muy difícil y engorrosa de realizar. La segunda es colocar una capa de material aislante sobre el suelo existente, con el fin de reducir su coeficiente de transmisividad. Se analizará esta última opción por ser más fácil de realizar y menos costosa económicamente.

En este caso la solución que se usará para el análisis es la siguiente: una capa de lana de roca ROCKWOOL Rocksol E – 2525 de 15 mm de espesor, barrera de vapor de polietileno de 2 mm, capa de nivelación de mortero de 40 mm y baldosas para el nuevo pavimento (Apéndice 7). El resultado sería similar al del esquema de la figura 11:

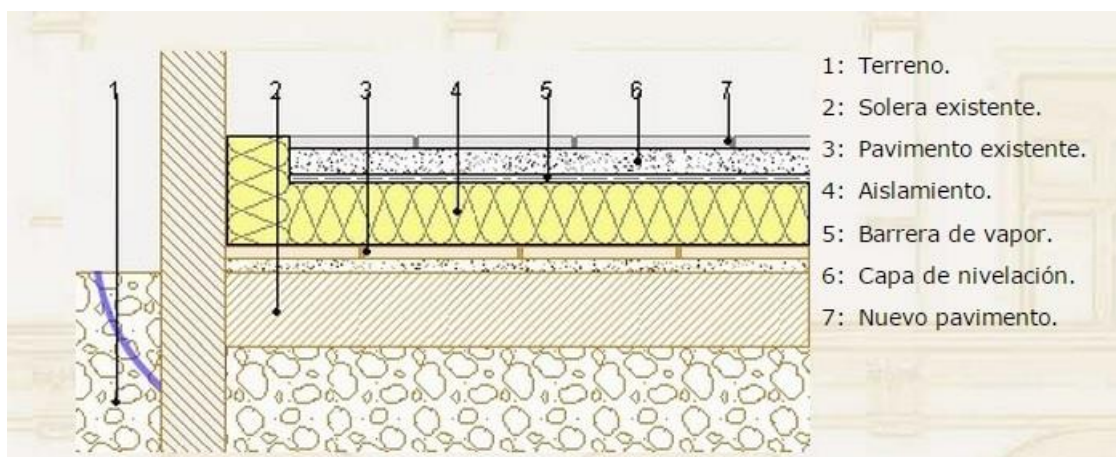


Figura 11: Esquema del resultado del suelo tras la reforma [24].

La resistencia térmica de este aislante es $0,35 \text{ m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$, con lo que el ahorro energético anual sería de **9,5 MWh. Esto supone una reducción de un 20% en las pérdidas a través del suelo y un 3,5% en el global.**

En términos económicos esto suponen **469 €/año de ahorro.**

El precio de estos materiales y la mano de obra es de $43,95 \text{ €/m}^2$. El total de la inversión asciende a **21.909 €.**

El período de retorno de la inversión sería de **46 años y 8 meses.**

4.5 Resumen de las medidas de eficiencia

A la vista de los resultados, se puede ver el potencial de mejora que presenta este edificio. La rehabilitación energética que aquí se plantea conseguiría un ahorro sustancial de calor, hasta un 46%, como puede verse en la tabla 11.

Como resumen de las mejoras, se incluye el gráfico 8, donde se puede observar cómo se han reducido sustancialmente las pérdidas térmicas.

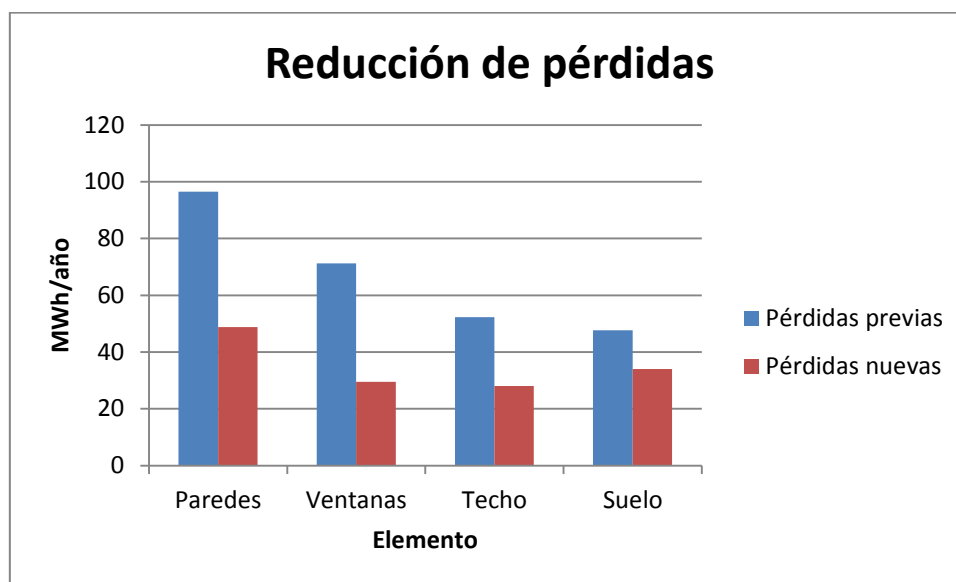


Gráfico 8: comparación pérdidas previas y tras reforma.

A modo de recopilación final de los resultados obtenidos en este apartado, se muestra la tabla 11.

Tabla 11: Ahorros energéticos derivados de las reformas

Elemento	Ahorro energético (MWh/año)	Ahorro económico (€/año)	Porcentaje individual	Porcentaje total	Período de retorno
Paredes	47,7	2.352	49%	16%	23 años y 8 meses
Ventanas	46,2	2.278	65%	16%	22 años y 7 meses
Techo	24,2	1.193	46%	8%	6 años y 4 meses
Suelo	9,5	469	20%	3%	46 años y 8 meses
Total	127,6	6.292		43%	

Como se puede ver, el ahorro que se produciría anualmente es de 127,6 MWh, lo que supondría pagar 6.292 € menos al año.

Individualmente, la reforma más favorable sería la del techo, ya que es la que resulta en un período de retorno menor. También habría que tener muy en cuenta tanto el cambio en las paredes como en las ventanas, ya que, aunque su inversión era elevada, los resultados son muy favorables. Finalmente, la mejora del suelo dependería de hasta qué punto los administradores del edificio quisieran llevar su reforma, dado que en este caso los ahorros no son tan sustanciales, ni el período de retorno es tan favorable como en los anteriores.

4.6 Ahorros no cuantificables

En este apartado se enumerarán algunos ahorros que pueden reducir sensiblemente el consumo energético, pero que se basan en cambios que afectan a la manera en que se usan los equipos existentes en el edificio, o cómo se mantienen los mismos.

4.6.1 Mantenimiento de los sistemas eléctricos

Es un factor muy importante y se debe tener muy presente. Un buen mantenimiento puede prevenir la aparición de consumos elevados en los sistemas de iluminación o ventilación, y evitar que tengan que cambiarse con frecuencia.

La eficiencia de los equipos disminuye con el tiempo, más si estos tienen cierta antigüedad. Los materiales pueden desgastarse por múltiples razones, generando pérdidas o roturas. El simple funcionamiento es una de ellas, así como ciertos elementos que porten los fluidos de trabajo, si nos encontramos en sistemas de ventilación o de agua, que pueden acarrear corrosión, como el cloro. La revisión periódica de los distintos elementos que componen los sistemas, así como el cambio de ciertas piezas críticas hará que su durabilidad aumente sin que se vea afectado su rendimiento.

4.6.2 Reducir la temperatura del agua caliente sanitaria

Una solución adicional puede ser la reducción de la temperatura de salida del agua caliente sanitaria. Si la temperatura necesaria fuera menor, el calor aportado para alcanzarla sería inferior.

Antes de llevar esta medida a cabo hay que tener en cuenta ciertas normas de seguridad sanitaria, como es la aparición de bacterias (legionella) en el agua si esta no está a la temperatura adecuada. La temperatura mínima que no debe rebasar el agua ronda los 50 °C, ya que esta bacteria se reproduce a temperaturas comprendidas entre los 20 °C y los 50°C [25].

Dado que en el caso de estudio la temperatura del ACS ronda los 55 °C, **se desaconseja totalmente** que esta medida se lleve a cabo, dados los problemas que podrían ocurrir.

5 Conclusión

En primer lugar, se muestran los resultados obtenidos a lo largo del estudio, tanto en el balance energético como después de realizar el cálculo de las mejoras.

Las ganancias obtenidas fueron **332,4 MWh/año**, mientras que las pérdidas **296,8 MWh/año**. Al realizar el cierre de balance se sumó a la parte de las pérdidas las que se producen por la ventilación natural y las infiltraciones, que ascienden a **35,7 MWh/año**. Éstas, junto con las pérdidas por transmisión, se reducen en gran manera al realizar las medidas de eficiencia.

Los resultados de estas medidas se muestran a continuación, en las tablas 12 y 13.

Tabla 12: Comparación de pérdidas actuales y tras mejoras.

Pérdidas actuales (MWh/año)	Pérdidas tras mejoras (MWh/año)	Porcentaje de reducción
296,8	155,0	47,8%

Tabla 13: Elementos afectados por las mejoras que reducen sus pérdidas energéticas.

Elemento	Pérdidas previas (MWh/año)	Pérdidas tras mejoras (MWh/año)
Paredes	96,5	48,8
Ventanas	71,2	29,5
Techo	52,3	28,1
Suelo	47,6	34,0

Como se ha podido comprobar el edificio estudiado tiene grandes posibilidades de mejorar su eficiencia energética, y consecuentemente sus consumos. Los resultados obtenidos dan más importancia a la realización de este proyecto, ya que saca a la luz una potencial inversión para la mejora de uno de los edificios más característicos de la ciudad.

El trabajo realizado, en general, ha sido satisfactorio, aunque tiene ciertas limitaciones, muchas de ellas provocadas por los datos de partida y los elementos a partir de los cuales se ha realizado este análisis. Por ejemplo la edad y la falta de datos constructivos sobre el edificio: apenas había información clara sobre los materiales de construcción, los distintos elementos eléctricos que hay en su interior o las características estructurales. Esto ha conllevado que en ocasiones hubiera que suponer ciertos datos, como el calor obtenido desde los aparatos eléctricos, ya que ni siquiera las luminarias estaban listadas. Aun así, gracias a la ayuda de los profesionales encargados de su conservación (empresa Gavlefastigheter) y los profesores de la Universidad de Gävle, las aproximaciones que se han considerado tienen mucha similitud con la situación real del edificio.

Este Proyecto Final de Carrera ha aportado a los administradores de la finca datos sobre cómo afectan las pérdidas energéticas a sus gastos económicos, así como las posibilidades de inversión y mejora que existen. Para ellos este análisis supone un punto de partida para una futura remodelación del edificio, pudiendo valorarla de una manera más clara.

En cuanto a los objetivos marcados al iniciar este trabajo, tales como conocer las pérdidas energéticas que existen en el objeto de estudio y la búsqueda de soluciones a las mismas, se han

cumplido satisfactoriamente. Los resultados obtenidos son bastante razonables y, con un análisis más pormenorizado de los elementos constructivos, se podría conseguir unos resultados más afinados. No obstante, y como ya sea comentado, las consideraciones llevadas a cabo se asemejan mucho a la realidad, lo que deriva en un análisis correcto.

Más allá de este Proyecto, se podría, como se ha indicado en el apartado anterior, realizar trabajos para conocer los materiales de construcción y sus propiedades. También sería útil realizar análisis económicos más detallados, como análisis de VAN y TIR para valorar las distintas opciones.

6 Referencias

- [1] Movimients – Energía. Accedido desde: <http://www.moviments.net/pimientoverde/energia/imagenes/crisis/consumo.png> [2/11/2014 18:40]
- [2] Valero, Antonio. *Apuntes Sotenibilidad Energética*. Máster Propio en Energías Renovables Europeo. Fundación Circe. Zaragoza, 2014.
- [3] Hernández Macías, Cinthia Liliana. *Reformas liberales, casos de China e India*. <http://confines.mty.itesm.mx/articulos14/reformaseconomicas.pdf> Accedido el 6 del 10 de 2014 a las 17:30
- [4] Biehus, Terry; Thumann, Albert y Younger, William J. *Handbook of Energy Audits*. Octava Edición. Lilburn, Estados Unidos de América: The Fairmont Press, 2009.
- [5] District heating. Wikipedia commons. Accedido desde: http://en.wikipedia.org/wiki/District_heating [23/12/2014 12:00]
- [6] District heating in Sweden. Wikipedia commons. Accedido desde: http://en.wikipedia.org/wiki/District_heating#Sweden [24/12/2014 19:00]
- [7] Flin, David. *Cogeneration. A user's guide*. IET, Institution of Energy and Technology, Londres, Reino Unido, 2010.
- [8] Blog Nebrija. Accedido desde: <http://blogs.nebrija.es/mundosostenible/files/2013/01/imagen-3-blog.jpg> [25/122014 11:20]
- [9] Martínez Gracia, Amaya. *Apuntes Energía Solar, Sesión 2, Colectores Solares Planos*. Máster Europeo en Energías Renovables. Fundación Circe. Zaragoza, 2014.
- [10] Blog PedroJHernandez. Accedido desde: <http://pedrojhernandez.files.wordpress.com/2014/03/acristalamiento.png> [25/12/2014 12:10]
- [11] Blog todo chimeneas. Accedido desde: <http://www.todochimeneas.com/blog/wp-content/uploads/2013/03/perdidas-de-calor-en-la-casa.jpg> [25/12/2014 11:30]
- [12] Marín, José María y Monné, Carlos. *Transferencia de calor*. Area de Máquinas y Motores Térmicos. Universidad de Zaragoza. 2ª edición, Zaragoza, 2007.
- [13] T. Karimipanah, *Building Energy Systems, course notes and slides*. Hogskolan i Gävle, Gävle, Suecia, 2013.
- [14] American Society of Heating, Refrigerating and Air.conditioning Engineers. *ASHRAE Handbook Fundamentals 2009*. Capítulo 9, pág 9.6. Atlanta, Estados Unidos de América. 2009.
- [15] Musik Huset. Accedido desde: <http://www.musikhuset.nu> [20/5/2014 11:00]
- [16] American Society of Heating, Refrigerating and Air.conditioning Engineers. *ASHRAE Handbook Fundamentals 2009*. Capítulo 9, pág 9.3. Atlanta, Estados Unidos de América. 2009.

- [17] American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers. *ASHRAE Handbook Fundamentals 2009*. Capítulo 33, pág 33.3. Atlanta, Estados Unidos de América. 2009.
- [18] Rhee-Duverne, S. y Baker, P. *Research into the thermal performance of traditional brick walls*. English Heritage research report, Reino Unido, 2013.
- [19] Baker, P. *U-values and traditional buildings. In situ measurements and their comparisons to calculated values*. Glasgow Caledonian University, Glasgow, Reino Unido, 2011.
- [20] *Norma básica de la edificación "NBE-CT-79" sobre Condiciones Térmicas de los Edificios*. Real Decreto 2429/1979, de 6-JUL, de la Presidencia del Gobierno. España, 1979.
- [21] Forsberg, Roland. *Notas de clase y apuntes del curso Indoor Environment*. Universidad de Gävle, Suecia, 2014.
- [22] CYPE Ingenieros S.A. Generador de precios. Accedido desde <http://www.generadordeprecios.info/> [20/2/2015 16:00]
- [23] Gävle Energi. Precios. Accedido desde: <http://www.gavleenergi.se/sv/Fjarrvarme/Priser1/> [21/2/2015 19:10]
- [24] CYPE Ingenieros S.A. Generador de precios. Accedido desde: http://www.generadordeprecios.info/rehabilitacion/Rehabilitacion_energetica/ZH_Cerramientos_horizontales_adi/ZHS_Sistemas_de_aislamiento_por_el/ZHS030_Sistema_ROCKWOOL_de_aislamiento_d.html [22/2/2015 13:20]
- [25] Hernández Calleja, Ana. *NTP 538: Legionelosis: medidas de prevención y control en instalaciones de suministro de agua*. Instituto Nacional de Higiene y Seguridad en el Trabajo, España, 1999.

7 Lista de figuras

Figura 1: Vista norte y sur de la iglesia.....	3
Figura 2. Tubos de calefacción urbana. [5]	7
Figura 3: Sistema de cogeneración para calefacción urbana [8]	8
Figura 4: Radiación solar a través de cristal simple y cristal doble [9].....	9
Figura 5: Ganancias y pérdidas de calor a través de una ventana [10].....	10
Figura 6: Distribución habitual de pérdidas de calor en una vivienda unifamiliar [11]	11
Figura 7: Tipos de intercambiadores en sistemas de ventilación y sus rendimientos [13].....	12
Figura 8: Tipos de construcción de las ventanas.....	15
Figura 9: Orientación de las paredes.	16
Figura 10: Pérdidas de calor a través de la envolvente del sótano.	21
Figura 11: Esquema del resultado del suelo tras la reforma [23].	28

8 Lista de tablas

Tabla 1: Radiación por orientación y mes (Ap. 2).	16
Tabla 2: Factor de nublado (Ap. 2)	18
Tabla 3: Área que ocupan las ventanas en cada orientación (Ap. 2).....	18
Tabla 4: Ganancias totales por radiación solar.....	18
Tabla 5: Resumen ganancias.	19
Tabla 6: Área que ocupan los distintos espesores de pared.....	20
Tabla 7: Valores U iniciales, corregidos, áreas y espesores.....	22
Tabla 8: Pérdidas por transmisión.	23
Tabla 9: Resumen de pérdidas	24
Tabla 10: Balance energético	25
Tabla 11: Ahorros energéticos derivados de las reformas.....	29
Tabla 12: Comparación de pérdidas actuales y tras mejoras.....	31
Tabla 13: Elementos afectados por las mejoras que reducen sus pérdidas energéticas.	31

9 Lista de gráficos.

Gráfico 1: Evolución del consumo energético mundial desde 1800 hasta la actualidad [1]	1
Gráfico 2: Radiación en las distintas épocas del año.	17
Gráfico 3: Radiación respecto a cada orientación.	17
Gráfico 4: Reparto de ganancias energéticas	19
Gráfico 5: Comparación entre valores U de pared y valores reales, dependiendo de la profundidad [21].....	22
Gráfico 6: Pérdidas energéticas.....	25
Gráfico 7: reparto de pérdidas por transmisión.	26
Gráfico 8: comparación pérdidas previas y tras reforma.....	29

Apéndice 1: Consumos de electricidad, calor (district heating) y agua corriente.

Ap 1.1 Electricidad

Företag: GAVLEFASTIGHETER

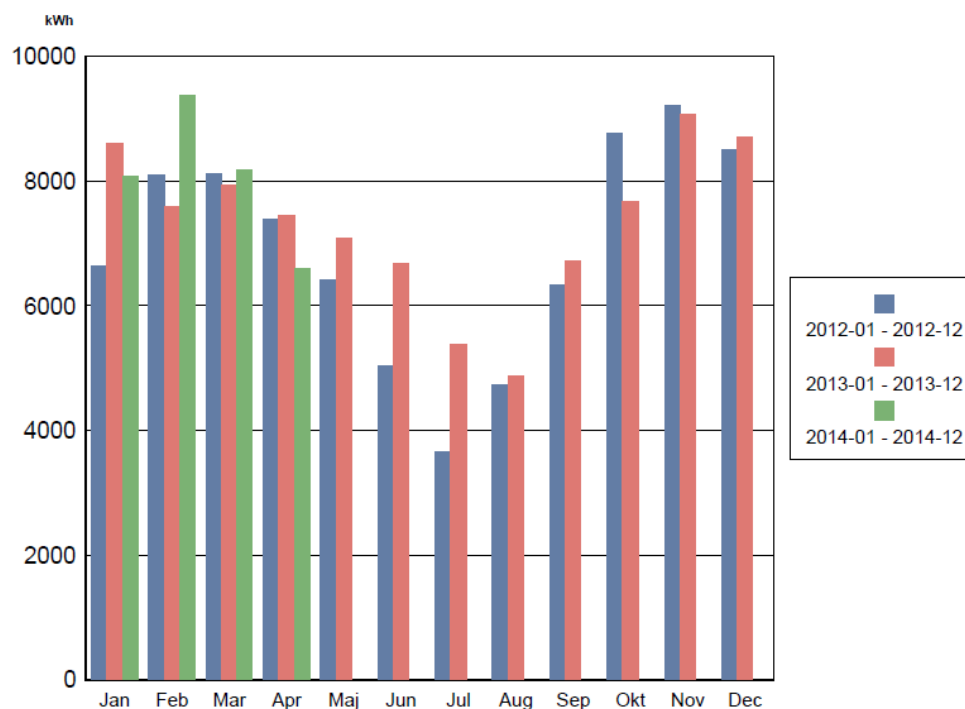
Förbrukningsrapport fastighetsbas

Sida 11 (55)

N1TL - 2014-05-14 11:01:37

Objekt: 123134 SJÖMANSKYRKAN (Klimatkorrigerad förbrukning)

Måtslag: EL



BRA: 2540 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2012-01 - 2012-12	6636	8097	8127	7397	6414	5027	3658	4738	6338	8774	9208	8512
2013-01 - 2013-12	8602	7591	7928	7452	7089	6688	5372	4874	6719	7662	9078	8715
2014-01 - 2014-12	8069	9374	8171	6599	0	0	0	0	0	0	0	0
Avvikelse % mot föreg. år	-6,2	23,5	3,1	-11,5	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
Nyckeltal 2014-01 - 2014-12 (kWh/m ² BRA)	3,2	3,7	3,2	2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Årsvärden	Ack. utfall Jan-Dec			Helår		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Verklig förbrukning (kWh)	82926	87770	32213	82926	87770	32213
Klimatkorrigerad förbrukning (kWh)	82926	87770	32213	82926	87770	32213
Avvikelse % för år 2014 mot år, Verklig	-61,2	-63,3		-61,2	-63,3	
Avvikelse % för år 2014 mot år, Klimatkor.	-61,2	-63,3		-61,2	-63,3	
Nyckeltal verklig (kWh/m ² BRA)	32,6	34,6	12,7	32,6	34,6	12,7
Nyckeltal klimatkor. (kWh/m ² BRA)	32,6	34,6	12,7	32,6	34,6	12,7

Ap 1.2 Calor (District heating)

Företag: GAVLEFASTIGHETER

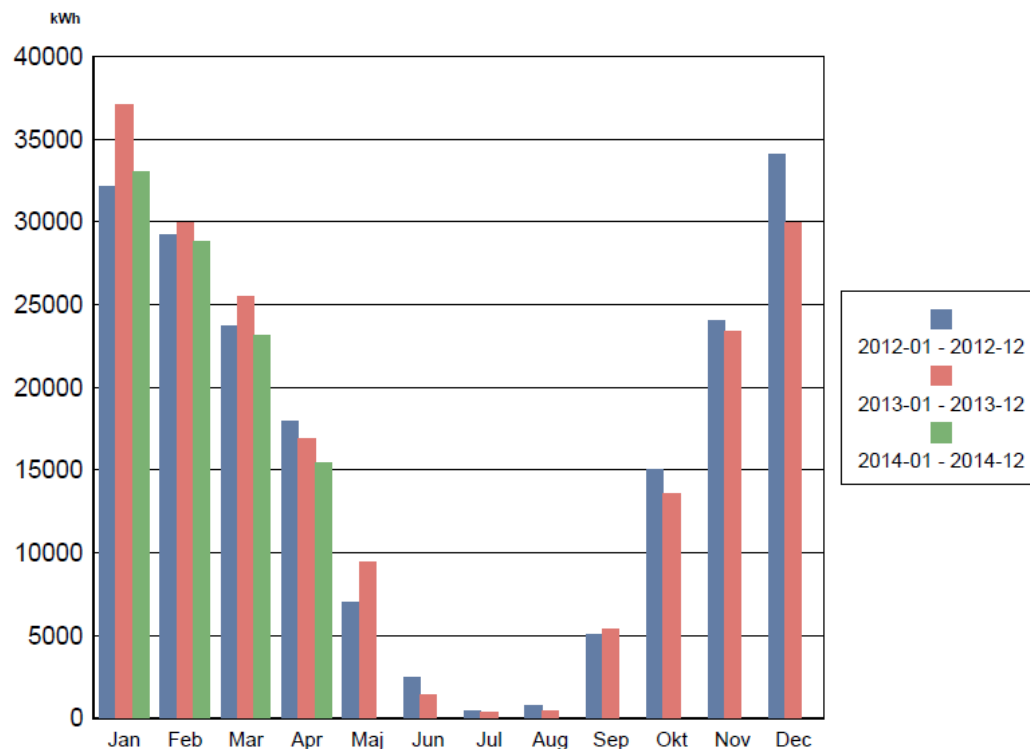
Förbrukningsrapport fastighetsbas

Sida 12 (55)

N1TL - 2014-05-14 11:01:37

Objekt: 123134 SJÖMANSKYRKAN (Klimatkorrigerad förbrukning)

Måtslag: Fjärrvärme



BRA: 2540 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2012-01 - 2012-12	32162	29225	23732	17955	7029	2426	402	764	5048	15061	24051	34075
2013-01 - 2013-12	37069	29966	25455	16882	9457	1378	341	434	5366	13533	23354	29985
2014-01 - 2014-12	33079	28782	23115	15440	0	0	0	0	0	0	0	0
Avvikelse % mot föreg. år	-10,8	-4,0	-9,2	-8,5	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
Nyckeltal 2014-01 - 2014-12 (kWh/m ² BRA)	13,0	11,3	9,1	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Årsvärden	Ack. utfall Jan-Dec			Helår		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Verklig förbrukning (kWh)	187092	182023	85079	187092	182023	85079
Klimatkorrigerad förbrukning (kWh)	191931	193219	100416	191931	193219	100416
Avvikelse % för år 2014 mot år, Verklig	-54,5	-53,3		-54,5	-53,3	
Avvikelse % för år 2014 mot år, Klimatkorr.	-47,7	-48,0		-47,7	-48,0	
Nyckeltal verklig (kWh/m ² BRA)	73,7	71,7	33,5	73,7	71,7	33,5
Nyckeltal klimatkorr. (kWh/m ² BRA)	75,6	76,1	39,5	75,6	76,1	39,5

Ap 1.3 Agua corriente

Företag: GAVLEFASTIGHETER

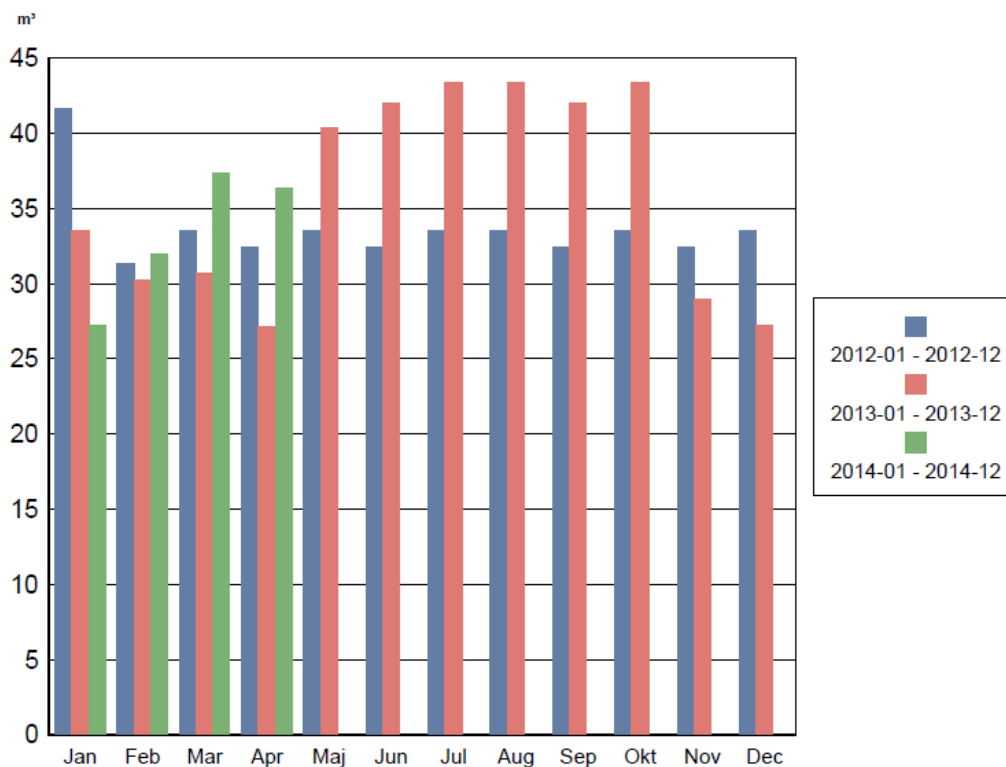
Förbrukningsrapport fastighetsbas

Sida 13 (55)

M1TL - 2014-05-14 11:01:37

Objekt: 123134 SJÖMANSKYRKAN (Verklig förbrukning)

Mätslag: Kallvatten



BRA: 2540 m²

	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
2012-01 - 2012-12	41,6	31,3	33,5	32,4	33,5	32,4	33,5	33,5	32,4	33,5	32,4	33,5
2013-01 - 2013-12	33,5	30,3	30,7	27,1	40,4	42,0	43,4	43,4	42,0	43,4	28,9	27,2
2014-01 - 2014-12	27,2	31,9	37,4	36,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Avvikelse % mot föreg. år	-18,8	5,6	21,9	33,9	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0	-100,0
Nyckeltal 2014-01 - 2014-12 (m ³ /m ² BRA)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

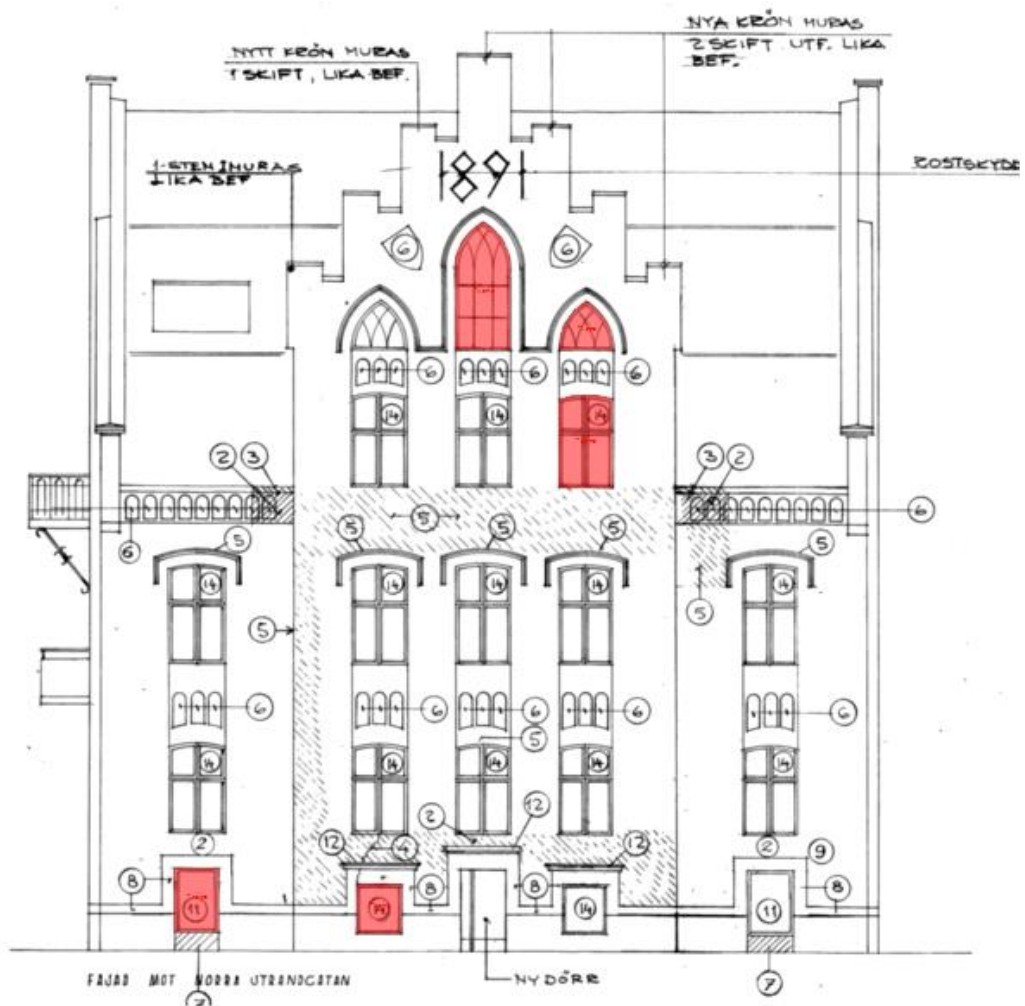
Årsvärden	Ack. utfall Jan-Dec			Helår		
	2012	2013	2014	2012	2013	2014
Verklig förbrukning (m ³)	404	432	133	404	432	133
Avvikelse % för år 2014 mot år, Verklig	-67,1	-69,3		-67,1	-69,3	
Nyckeltal verklig (m ³ /m ² BRA)	0,2	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1

Apéndice 2: Área, radiación y orientación de las ventanas.

Ap 2.1 Área

Pared trasera, cara sur.

Área (m ²)	Número de ventanas	Área total (m ²)
3,7	13	48,1
1,3	2	2,6
4,3	1	4,3
1,9	2	3,8
1,5	2	3
Total (m ²)		61,8

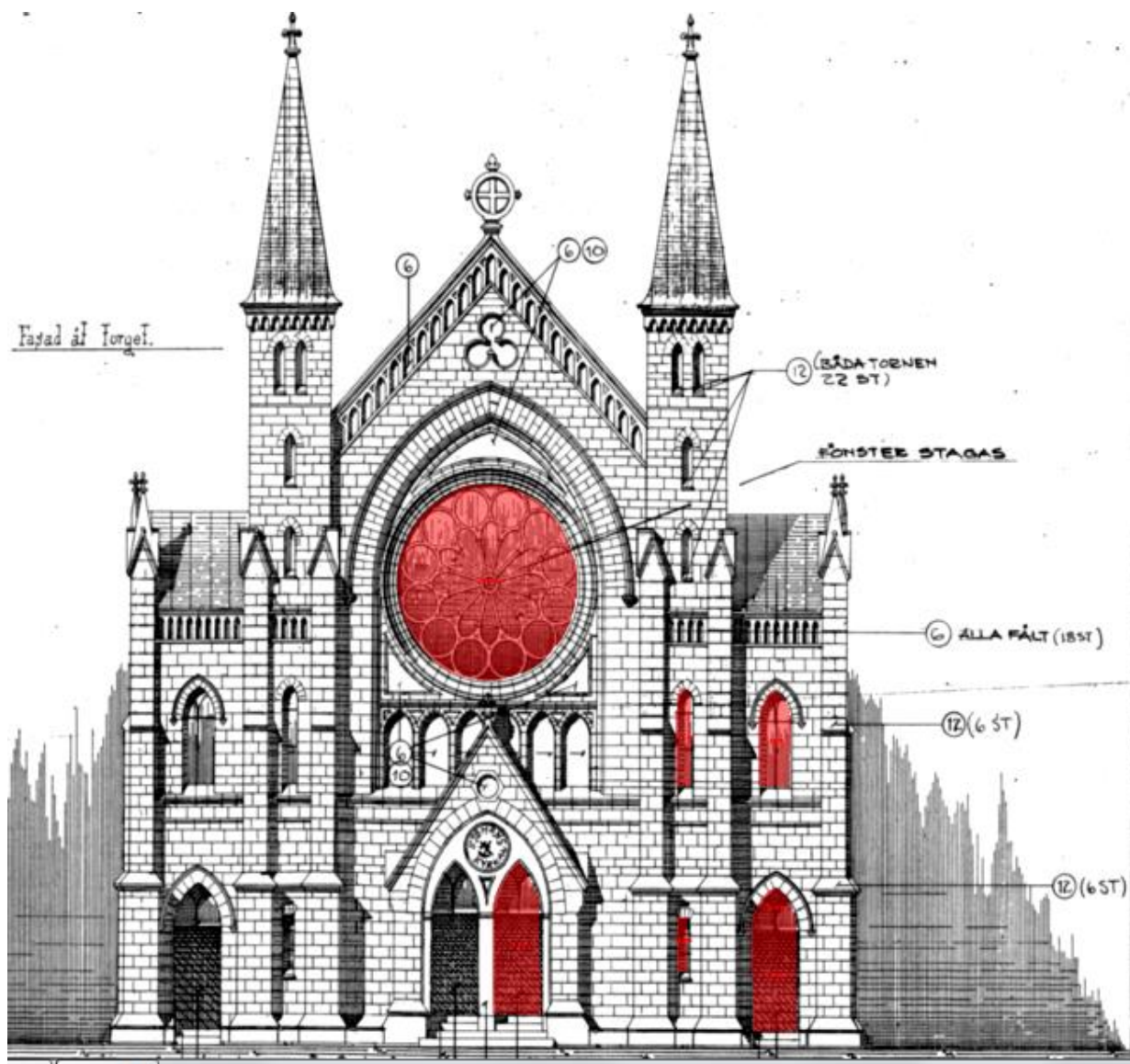


Pared frontal, cara norte.

Área (m ²)	Número de ventanas	Área total (m ²)
7,7	1	7,7
2,1	2	4,2
1	2	2
0,4	2	0,8
0,8	2	1,6
1	2	2
Total (m ²)		18,3

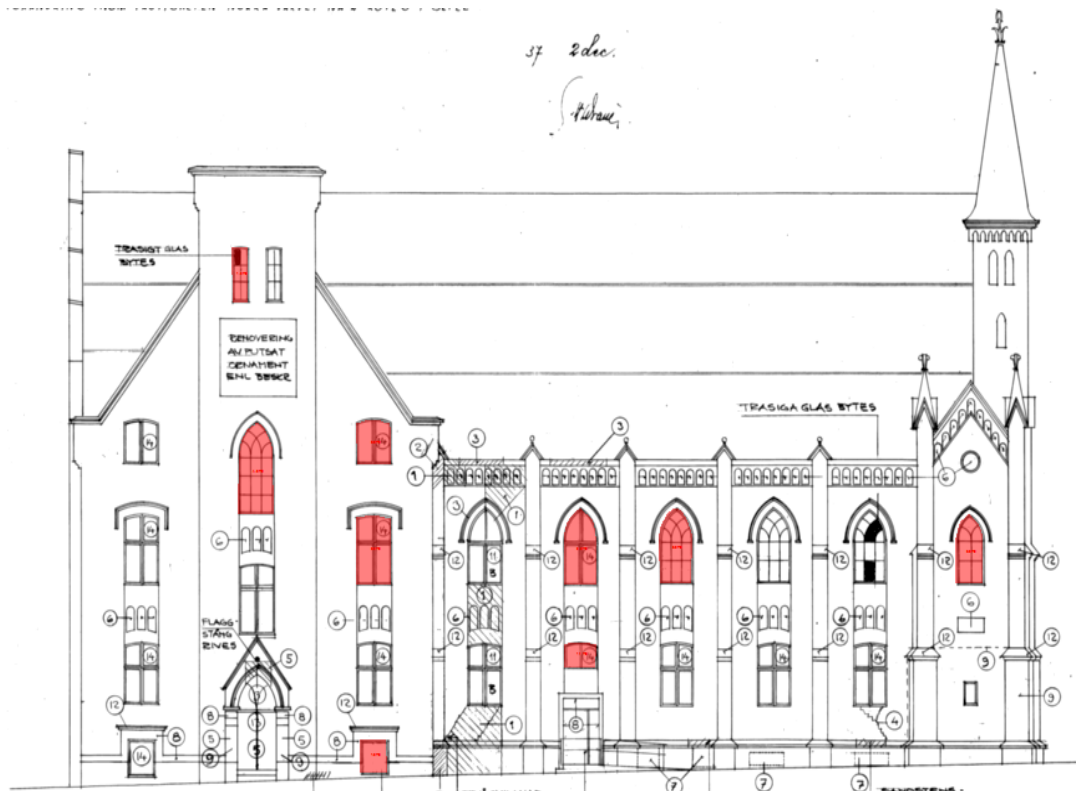
El rosetón frontal está compuesto por tres ventanas más pequeñas como se puede apreciar en la siguiente imagen. Éstas tienen área total de 7,7 m².





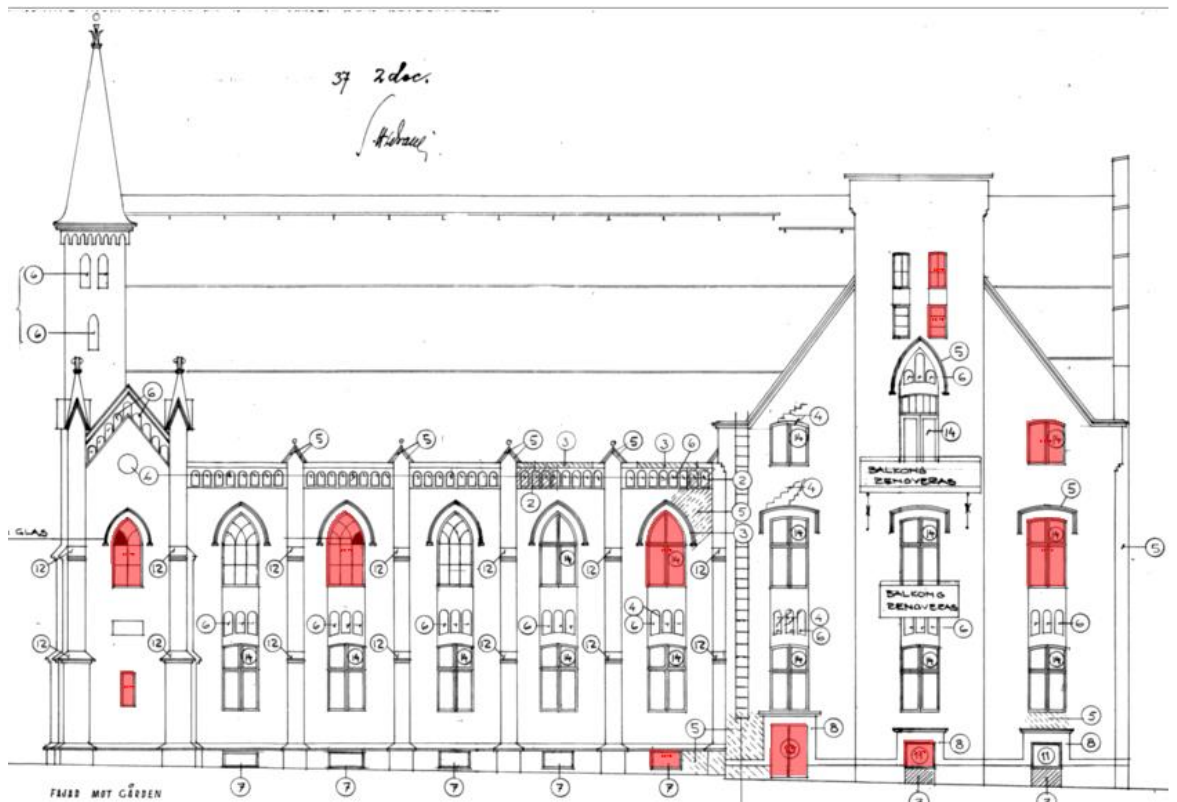
Pared orientada al este.

Área (m ²)	Número de ventanas	Área total (m ²)
1,3	2	2,6
2,3	2	4,6
4,3	1	4,3
3,6	9	32,4
1,4	2	2,8
3,5	2	7
1,3	1	1,3
3,3	3	9,9
2,6	1	2,6
Total (m ²)		67,5



Pared orientada al oeste.

Área (m ²)	Número de ventanas	Área total (m ²)
2,6	1	2,6
0,6	1	0,6
3,3	3	9,9
3,6	11	39,6
3,5	2	7
0,6	5	3
2,3	2	4,6
0,8	2	1,6
0,8	2	1,6
5	1	5
1	2	2
Total (m ²)		77,5



Ap 2.2 Radiación y orientación

CALCULATION FACTORS FOR WINDOWS ACCORDING TO SUN RADIATION

WINDOWS TYPE	U-VALUE	CALCULATION FACTOR
1-glass, normally	5.4	0.90
2-glass, normally	2.9 – 3.0	0.80
3-glass, normally	1.9 – 2.0	0.72
Special glass	1.0 – 1.5	0.69
2-glass, energy glass	1.0 – 1.5	0.70

Example:

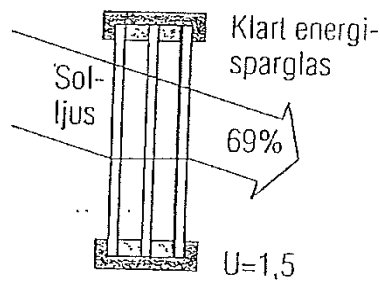
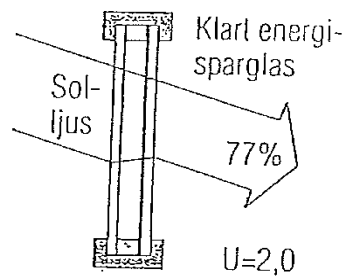
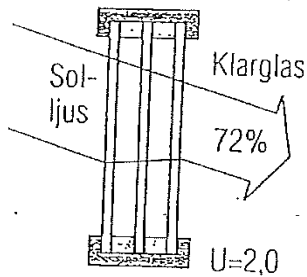
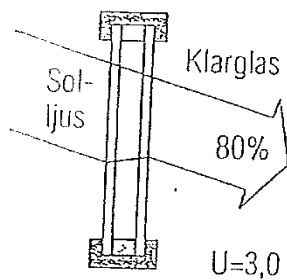
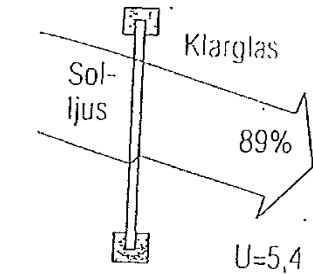
If you have 3-glass, normally and you calculate Q (Wh) from the table so is the right value $Q \times 0.72$.

II:2.1.2 Døgnsommer den 15:e i varje månad av stråling mot vertikala ytor, Wh/m²dgn

Månad	Horisont-avskärmning,°	Vertikala ytans orientering											
		N			E			S			W		
		-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150
Latitud 68° N													
Januari	0	0	0	0	10	80	130	160	130	80	10	0	0
Januari	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Februari	0	160	160	240	770	1730	2740	3140	2740	1730	770	240	160
Februari	10	90	90	90	120	170	220	240	220	170	120	90	90
Mars	0	530	630	1280	2470	3900	5170	5770	5170	3900	2470	1280	630
Mars	10	500	510	820	1790	3180	4590	5210	4590	3180	1790	820	510
April	0	1320	1920	3230	4700	5920	6570	6690	6570	5920	4700	3230	1920
April	10	1040	1440	2530	3970	5350	6310	6660	6310	5350	3970	2530	1440
Maj	0	2340	3530	4850	6010	6560	6490	6370	6490	6560	6010	4850	3530
Maj	10	1960	2650	4030	5350	6220	6450	6330	6450	6220	5350	4030	2650
Juni	0	4890	5290	6160	6920	6960	6520	6310	6520	6960	6920	6160	5290
Juni	10	3060	3690	5090	6220	6690	6470	6270	6470	6690	6220	5090	3690
Juli	0	3910	4410	5540	6500	6760	6510	6340	6510	6760	6500	5540	4410
Juli	10	2500	3190	4600	5830	6500	6470	6300	6470	6500	5830	4600	3190
Augusti	0	1850	2460	3800	5130	6070	6390	6390	6070	6390	5130	3800	2460
Augusti	10	1410	2020	3270	4650	5750	6320	6370	6320	5750	4650	3270	2020
September	0	720	1000	1860	3120	4460	5500	5920	5500	4460	3120	1860	1000
September	10	690	770	1410	2570	3940	5150	5750	5150	3940	2570	1410	770
Oktober	0	290	280	550	1370	2590	3820	4370	3820	2590	1370	550	280
Oktober	10	250	250	270	710	1720	2770	3150	2770	1720	710	270	250
November	0	30	30	30	140	530	910	1040	910	530	140	30	30
November	10	20	20	20	20	30	50	50	50	30	20	20	20
December	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
December	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Latitud 64° N													
Januari	0	50	50	50	220	750	1260	1440	1260	750	220	50	50
Januari	10	30	30	30	40	50	70	80	70	50	40	30	30
Februari	0	280	270	440	1180	2370	3600	4120	3600	2370	1180	440	270
Februari	10	220	220	230	510	1410	2260	2580	2260	1410	510	230	220
Mars	0	650	720	1510	2780	4250	5510	6110	5510	4250	2780	1510	720
Mars	10	610	630	1140	2270	3730	5120	5790	5120	3730	2270	1140	630
April	0	1320	1940	3260	4710	5990	6500	6590	6500	5990	4710	3260	1940
April	10	1110	1540	2990	4100	5410	6260	6660	6260	5410	4100	2990	1540
Maj	0	2540	3200	4590	5780	6380	6250	6070	6250	6380	5780	4590	3200
Maj	10	2000	2720	4090	5360	6120	6230	6050	6230	6120	5360	4090	2720
Juni	0	3690	4260	5510	6460	6510	6160	5890	6160	6510	6460	5510	4260
Juni	10	2690	3390	4800	5830	6390	6130	5860	6130	6390	5830	4800	3390
Juli	0	3170	3790	5130	6190	6520	6210	5770	6210	6520	6190	5130	3790
Juli	10	2500	3200	4620	5780	6340	6180	5950	6180	6340	5780	4620	3200
Augusti	0	1740	2380	3730	5050	5860	6250	6200	6250	5860	5050	3730	2380
Augusti	10	1340	1920	3130	4470	5550	6110	6170	6110	5550	4470	3130	1920
September	0	810	1120	2030	3330	4660	5670	6070	5670	4660	3330	2030	1120
September	10	760	890	1570	2760	4130	5310	5910	5310	4130	2760	1570	890
Oktober	0	400	410	800	1780	3150	4490	5110	4490	3150	1780	800	410
Oktober	10	360	360	490	1090	2300	3590	4060	3590	2300	1090	490	360
November	0	100	100	120	470	1260	2070	2380	2070	1260	470	120	100
November	10	60	60	60	80	110	150	170	150	110	80	60	60
December	0	10	10	10	80	360	610	700	610	360	80	10	10
December	10	10	10	10	10	20	30	30	30	20	10	10	10

II:2.1.2 Døgnsommer den 15:e i varje månad av stråling mot vertikala ytor, Wh/m²dgn 151

Månad	Horisont-avskärmning,°	Vertikala ytans orientering											
		N			E			S			W		
		-180	-150	-120	-90	-60	-30	0	30	60	90	120	150
Latitud 60° N													
Januari	0	130	130	160	550	1440	2380	2710	2380	1440	550	160	130
Januari	10	70	70	70	90	140	180	200	180	140	90	70	70
Februari	0	370	370	640	1550	2900	4260	4880	4260	2900	1550	640	370
Februari	10	340	340	400	1030	2240	3530	4020	3530	2240	1030	400	340
Mars	0	730	900	1720	3050	4520	5740	6320	5740	4520	3050	1720	900
Mars	10	710	730	1290	2460	3920	5290	5970	5290	3920	2460	1290	730
April	0	1350	1990	3320	4750	5850	6370	6410	6370	5850	4750	3320	1990
April	10	1170	1640	2810	4220	5420	6160	6390	6160	5420	4220	2810	1640
Maj	0	2350	3050	4460	5630	6150	5990	5730	5990	6150	5630	4460	3050
Maj	10	1840	2570	3910	5130	5840	5920	5710	5920	5840	5130	3910	2570
Juni	0	3210	3870	5230	6190	6250	5920	5460	5920	6250	6190	5230	3870
Juni	10	2420	3180	4570	5650	6070	5790	5430	5790	6070	5650	4570	3180
Juli	0	2930	3510	4910	5960	6280	5920	5590	5920	6280	5960	4910	3510
Juli	10	2270	3020	4410	5540	6050	5870	5560	5870	6050	5540	4410	3020
Augusti	0	1700	2380	3720	5020	5850	6070	5970	6070	5850	5020	3720	2380
Augusti	10	1400	2020	3240	4550	5520	5950	5940	5950	5520	4550	3240	2020
September	0	900	1230	2200	3520	4820	5760	6130	5760	4820	3520	2200	1230
September	10	880	1070	1930	3200	4530	5580	6080	5580	4530	3200	1930	1070
Oktober	0	510	590	1010	2110	3570	4960	5620	4960	3570	2110	1010	590
Oktober	10	470	480	650	1500	2650	4290	5620	4290	2650	1500	650	480
November	0	200	200	270	840	1910	3040	3480	3040	1910	840	270	200
November	10	160	160	160	300	390	1590	1810	1590	390	300	160	160
December	0	80	80	90	380	1060	1770	2030	1770	1060	380	90	80
December	10	40	40	50	50	90	120	130	120	90	50	50	40
Latitud 56° N													
Januari	0	230	230	300	910	2050	3260	3730	3260	2050	910	300	230
Januari	10	190	190	200	460	1350	2180	2490	2180	1350	460	200	190
Februari	0	480	480	870	1920	3370	4810	5470	4810	3370	1920	870	480
Februari	10	450	450	610	1440	2790	4240	4820	4240	2790	1440	610	450
Mars	0	820	1020	1920	3280	4720	5860	6420	5860	4720	3280	1920	1020
Mars	10	810	900	1640	2930	4370	5620	6260	5620	4370	2930	1640	900
April	0	1370	2030	3360	4760	5770	6180	6180	6180	5770	4760	3360	2030
April	10	1230	1750	2950	4320	5410	6010	6160	6010	5410	4320	2950	1750
Maj	0	2230	2980	4390	5500	5950	5680	5360	5680	5950	5500	4390	2980
Maj	10	1890	2650	4000	5150	5730	5640	5350	5640	5730	5150	4000	2650
Juni	0	2950	3670	5060	5980	6090	5470	5030	5470	6090	5980	5060	3670
Juni	10	2470	3250	4630	5620	5900	5460	5020	5460	5900	5620	4630	3250
Juli	0	2630	3380	4790	5790	6050	5560	5160	5560	6050	5790	4790	3380
Juli	10	2060	2870	4210	5280	5730	5510	5140	5510	5730	5280	4210	2870
Augusti	0	1680	2380	3720	4970	5720	5850	5680	5850	5720	4970	3720	2380
Augusti	10	1460	2110	3360	4610	5460	5750	5670	5750	5460	4610	3360	2110
September	0	980	1330	2350	3680	4920	5760	6100	5760	4920	3680	2350	1330
September	10	950	1170	2080	3360	4620	5580	6050	5580	4620	3360	2080	1170
Oktober	0	610	650	1250	2450	3940	5320	5990	5320	3940	2450	1250	650
Oktober	10	590	590	920	1950	3380	4850	5600	4850	3380	1950	920	590
November	0	300	300	440	1190	2460	3880	4340	3880	2460	1190	440	300
November	10	270	270	280	720	1800	2900	3310	2900	1800	720	280	270

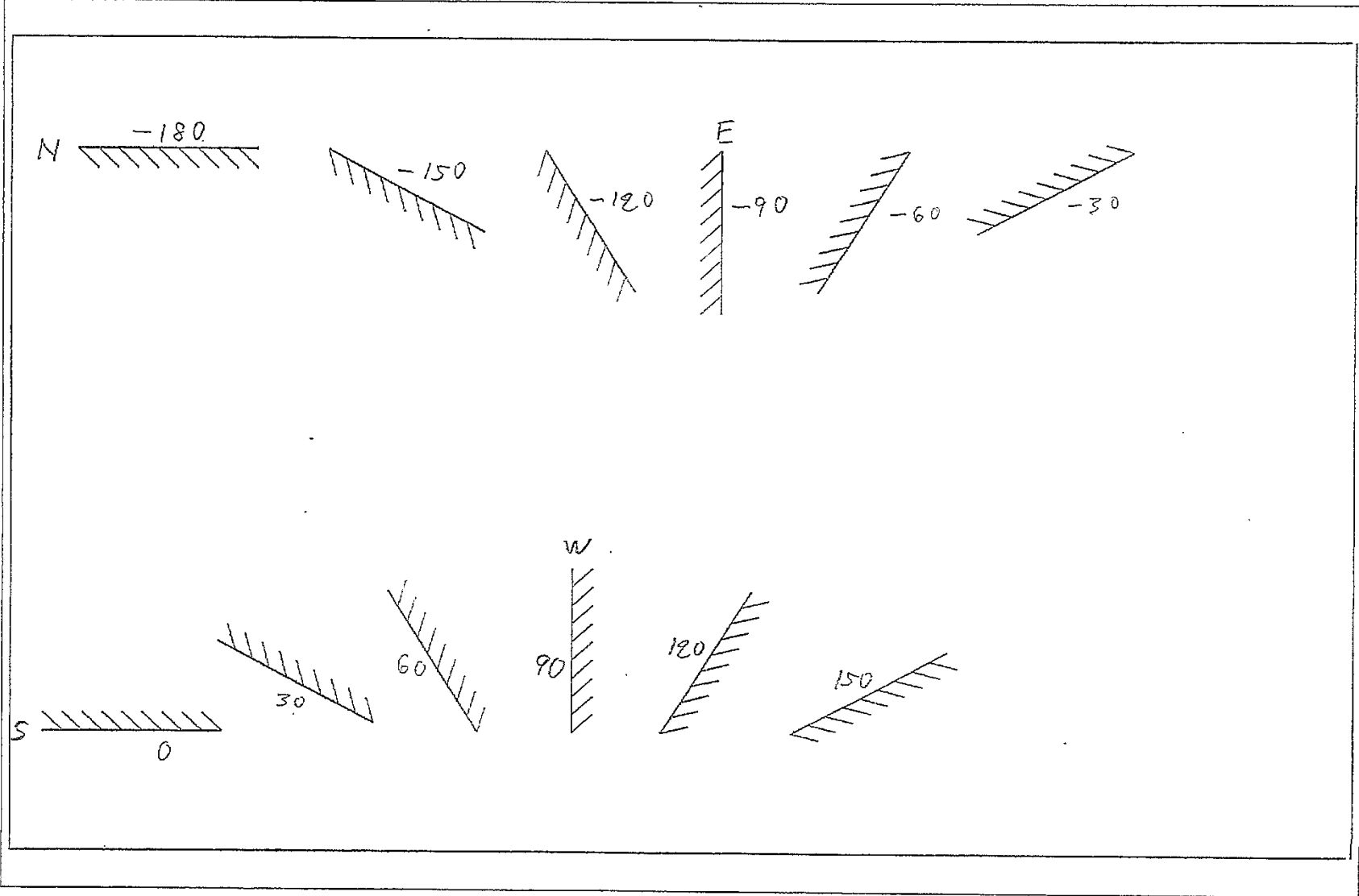


Ett vanligt 4 mm tjockt klarglas dämpar solljuset med ca 10% och släpper alltså ca 90%. För varje extra 4 mm tjockt glas släpper man ljusinsläppet med ca 10%. En fyrglasruta släpper in 65% av solljuset. Men utan referensruta att jämföra med innebär ögat dämpningen först vid 50-55% ljusreduktion.

Energispartglasens beläggning påverkar inte ljusreduktionen nämnvärt. Minuskoefficienter med procentenheter i tillräkningen är enbart beräknade och försumbar.

CALCULATION FACTORS FOR WINDOWS ACCORDING TO CLOUDY DAYS

MONTH	CALCULATION FACTOR
January	0.45
February	0.49
March	0.58
April	0.58
May	0.63
June	0,61
July	0,61
August	0,59
September	0.58
October	0.51
November	0.42
December	0.43

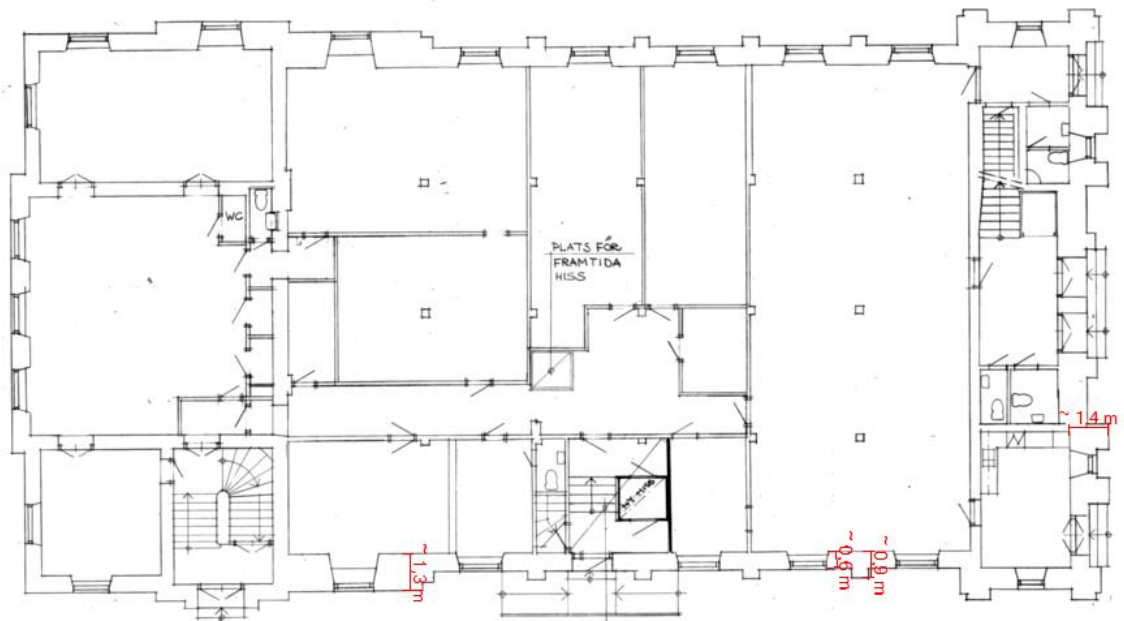
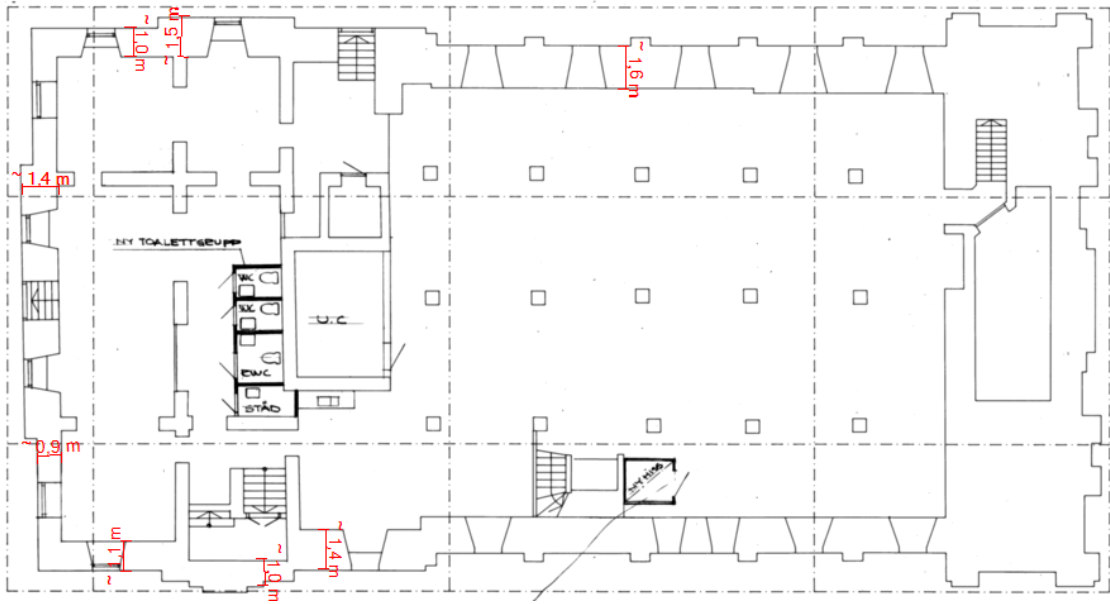


Apéndice 3: Área paredes y tejado.

Ap 3.1 Área y espesor de las paredes

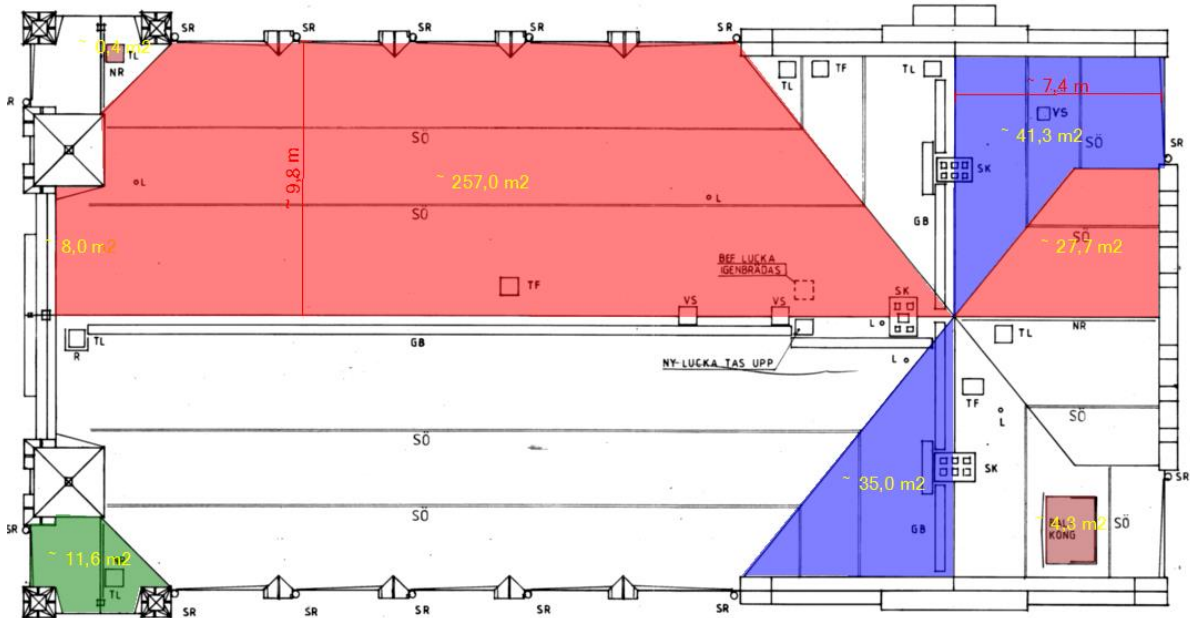
Espesor (m)	0,6	0,9	1,3	1,4
Pared este	317,4	25,2	65,7	0
Pared oeste	310,6	25,2	65,7	0
Pared frontal (norte)	191,7	0	0	36,4
Pared trasera (sur)	245,3	0	0	0
Área total (m ²)	1065	50,4	131,4	36,4





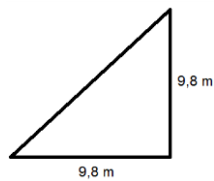
Ap 3.2 Área tejado

El tejado tiene tres inclinaciones diferentes. En la siguiente figura se muestran las áreas correspondientes a cada uno de éstos ángulos en proyección horizontal.



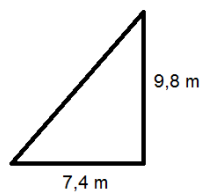
Cada color representa una inclinación. La altura del techo es de 9,8 metros (medidos desde la pared, no desde el último piso) excepto por el color verde, donde hay 1,9 metros.

- Área roja: forma el siguiente triángulo:



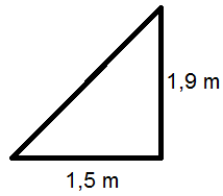
Su ángulo es: $9,8 / 9,8 = 1$, $\tan^{-1}(1) = 45^\circ$

- Área azul:



Su ángulo es: $9,8 / 7,4 = 1,324$, $\tan^{-1}(1,324) = 52,9^\circ$

- Área verde:



Su ángulo es: $1,9 / 1,5 = 1,26$, $\tan^{-1} = 51,5^\circ$

Para conocer el valor real se divide el área en proyección horizontal entre el coseno del ángulo de cada una de ellas.

$$\text{Área roja: } (257 + 8 + 27,7) * 2 / \cos (45^\circ) = 827,8 \text{ m}^2$$

$$\text{Área azul: } 41,3 - 4,3 + 41,3 + 35 * 2 / \cos (52,9^\circ) = 253 \text{ m}^2 = 246,2 \text{ m}^2$$




$$\text{Área verde: } (11,6 - 0,4) * 2 / \cos (51,5^\circ) = 36 \text{ m}^2$$

$$\text{Área total: } 827,8 + 248,7 + 36 = \mathbf{1110 \text{ m}^2}$$

Apéndice 4: Cálculos

El coeficiente global de transferencia de calor, U, es igual al inverso de la resistencia térmica total. Esta resistencia total es la suma de cada una de las resistencias térmicas de los materiales que conforman la pared, así como la convección interior y exterior.

Los valores de convección interior y exterior están tomados directamente de la bibliografía. Se pueden ver en la siguiente imagen:

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	Situación del cerramiento					
	De separación con espacio exterior o local abierto			De separación con otro local, desván o cámara de aire		
	1/h _i	1/h _e	1/h _i +1/h _e	1/h _i	1/h _e	1/h _i +1/h _e
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal > 60° y flujo horizontal 	0,13 (0,11)	0,07 (0,06)	0,20 (0,17)	0,13 (0,11)	0,13 (0,11)	0,26 (0,22)
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal ≤ 60° y flujo ascendente 	0,11 (0,09)	0,06 (0,05)	0,17 (0,14)	0,11 (0,09)	0,11 (0,09)	0,22 (0,18)
Cerramientos horizontales y flujo descendente 	0,20 (0,17)	0,06 (0,05)	0,26 (0,22)	0,20 (0,17)	0,20 (0,17)	0,40 (0,34)

Resistencias térmicas superficiales en m² h °C/kcal (m² °C/W)

Figura 12: coeficientes de resistencia térmica por convección.

La resistencia térmica para el caso de la conducción es igual a:

$$R_{conducción} = \frac{\text{Espesor}(m)}{\text{Conductividad térmica } (W/m * K)} \quad (\text{Ec. Ap IV - 1})$$

Ap 4.1 Pérdidas a través de las paredes

En el caso de las paredes, tenemos varios espesores de ladrillos, a los que se ha añadido una capa de cemento y yeso, de 3 y 2 centímetros. Los coeficientes de conductividad para los distintos materiales son: ladrillos 0,55 (W/m*K), cemento 0,93 (W/m*K) y yeso 0,43 (W/m*K). Con ello, las resistencias resultan:

- **Ladrillos:**

Tabla 14: Resistencia térmica de los ladrillos

Espesor (m)	0,6	0,9	1,3	1,4
Resistencia (K*m ² /W)	1,09	1,64	2,36	2,55

- **Cemento:** $0,03 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$
- **Yeso:** $0,05 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

La resistencia por convección, teniendo en cuenta tanto cara interna como externa de la pared, es $0,17 \text{ K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$

Con todo ello, la resistencia total, dependiendo del grosor de la pared de ladrillo, asciende a:

Tabla 15: resistencias totales, coeficientes de transmisión de calor y áreas.

Espesor (m)	0,6	0,9	1,3	1,4
Resistencia ($\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W}$)	1,34	1,89	2,61	2,79
U ($\text{W}/\text{K}\cdot\text{m}^2$)	0,75	0,53	0,38	0,36
Área (m^2)	1065	50,4	131,4	36,4
U2*A (W/K)	794,33	26,72	50,28	13,02

También se ha incluido el cálculo de U*A, siendo el A el área que ocupa cada espesor. De esta manera bastaría con multiplicar la suma de los U*A por los grados hora para tener las pérdidas totales a través de las paredes.

$$(794,33 + 26,72 + 50,28 + 13,02) [\text{W}/\text{K}] * 109.100 [\text{K}\cdot\text{h}/\text{año}] / 10^6 [\text{Wh}/\text{MWh}] = \mathbf{96,5 \text{ MWh/año.}}$$

Ap 4.2 Pérdidas a través del tejado

En el caso del tejado, la resistencia térmica por convección es $0,14 (\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W})$.

Los materiales de los que se compone son: madera de pino de 24 cm de espesor y $0,11 (\text{W}/\text{m}\cdot\text{K})$ de conductividad, y una lámina de hierro de 1 cm y $(47,7 \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K})$.

Con ello, la resistencia térmica de la madera es $2,2 (\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W})$ y la del hierro $0,0002 (\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W})$. La resistencia total asciende a $2,34 (\text{K}\cdot\text{m}^2/\text{W})$, y el coeficiente de transmisividad térmica es $0,43 (\text{W}/\text{K}\cdot\text{m}^2)$.

Con un área total de 1110 m^2 , y un valor de grados hora de $109.100 \text{ K}\cdot\text{h}/\text{año}$, el total de las pérdidas energéticas a través del tejado asciende a **52,1 MWh / año**.

Apéndice 5: Grados – hora y temperatura media en Gävle.

Ap 5.1 Tabla de grados-hora.

Tin	Tout	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6	7	8
5		80750	73500	66500	59700	53200	47000	41000	35200	29700	24500	19500
6		87000	79500	72300	65300	58500	52000	45800	39700	33900	28400	23000
7		93500	85800	78300	71100	64100	57400	50800	44500	38400	32600	26900
8		100200	92200	84600	77200	69900	62900	56200	49600	43200	37100	31100
9		107200	99000	91200	83500	76000	68800	61800	54900	48200	42000	35500
10		114500	106000	98000	90100	82400	74900	67700	60600	53600	47100	40300
11		121900	113300	105100	97000	89000	81400	73900	66500	59300	52500	45400
12		129500	120700	112300	104000	95800	88000	80200	72600	65100	58100	50700
13		137000	128100	119500	111000	102500	94500	86500	78700	70900	63600	55900
14		144600	135400	126700	118000	109300	101100	92900	84700	76700	69200	61200
15		152100	142800	133900	125000	116100	107600	99200	90800	82500	74800	66500
16		159700	150200	141100	132100	122900	114200	105500	96900	88300	80400	71800
17		167200	157600	148300	139100	129600	120700	111800	103000	94100	85900	77000
18		174800	165000	155500	146100	136400	127300	118100	109100	99900	91500	82300
19		182300	172300	162700	153100	143200	133800	124500	115200	105700	97100	87600
20		189900	179700	169900	160100	149900	140400	130800	121300	111500	102600	92800
21		197400	187100	177100	167100	156700	146900	137100	127300	117300	108200	98100
22		205000	194500	184300	174100	163500	153500	143400	133400	123100	113800	103400
23		212500	201900	191500	181100	170200	160000	149700	139500	128900	119300	108600
24		220100	209200	198700	188100	177000	166600	156100	145600	134700	124900	113900

Normaltemperatur i °C för månaderna och året, 1931–1960

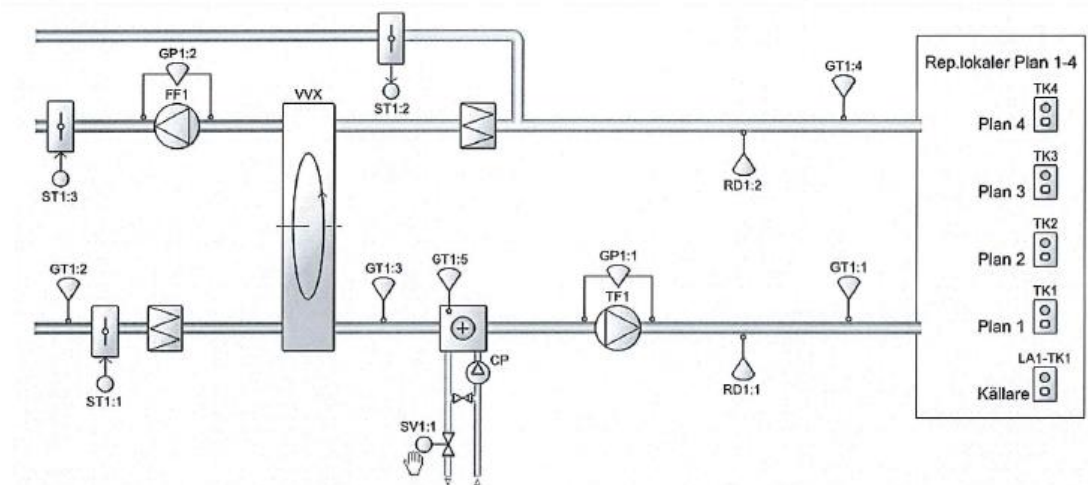
Källa: Klimatdata för Sverige, Statens Institut för Byggnadsforskning

Station	Året	Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
Malmöberget	0,2	-10,4	-10,5	-7,1	-1,9	4,0	10,2	13,9	11,5	6,0	-0,4	-5,2	-8,0
Karesuando	-1,5	-13,8	-13,9	-9,9	-3,6	3,0	9,8	13,7	11,2	5,4	-1,6	-7,3	-11,2
Kiruna	-1,2	-12,2	-12,4	-8,9	-3,5	2,7	9,2	12,9	10,5	5,1	-1,5	-6,8	-10,1
Pajala	-0,1	-13,1	-12,6	-7,9	-1,4	5,2	11,4	15,0	12,3	6,6	-0,5	-6,0	-9,8
Stensele	0,7	-12,2	-11,0	-6,8	-0,2	5,9	11,0	14,3	12,2	7,1	1,0	-4,2	-8,3
Luleå flygplats	2,0	-10,0	-10,2	-6,5	-0,5	6,1	12,1	16,0	14,0	9,0	2,5	-2,6	-6,5
Haparanda	1,6	-10,6	-10,9	-7,4	-0,9	5,8	12,3	16,3	14,0	8,4	2,1	-2,7	-6,8
Nordmaling	3,0	-8,2	-7,7	-4,3	1,1	6,8	11,7	15,4	14,0	9,3	3,3	-1,0	-4,4
Hällnäs	1,3	-11,8	-10,7	-6,3	0,1	6,7	12,0	15,4	13,3	7,8	1,0	-3,9	-8,1
Umeå	3,4	-7,8	-7,7	-4,4	1,3	7,5	12,7	16,3	14,6	9,5	3,5	-0,9	-4,3
Offer	2,8	-10,2	-8,7	-4,2	2,1	8,1	13,0	16,0	14,1	9,1	2,7	-2,3	-6,4
Närnösand	4,4	-6,2	-5,8	-2,8	2,2	7,8	12,7	16,3	15,0	10,4	4,9	0,7	-2,7
Sundsvalvs flygplats	3,9	-6,9	-6,3	-3,0	2,1	7,5	12,7	15,8	14,5	9,9	4,3	0,0	-3,4
Söderhamn F 15	4,7	-5,4	-5,2	-2,2	2,9	8,1	13,1	16,2	15,0	10,4	5,0	0,6	-2,4
Egggrund	5,5	-2,9	-3,6	-1,9	2,1	6,6	12,0	16,0	15,8	11,8	6,9	2,8	0,1
Åre	5,0	-5,1	-4,9	-2,2	3,3	8,7	13,8	16,6	15,3	10,7	5,3	0,9	-2,1
Frösön F 4	2,9	-7,9	-6,8	-3,5	1,5	7,0	11,4	14,5	13,0	8,4	3,0	-1,4	-4,5
Björkedet	1,3	-9,3	-8,5	-5,5	-0,4	4,8	9,4	12,6	11,1	7,0	2,1	-2,1	-5,6
Gisselås	1,2	-11,2	-9,7	-6,0	0,4	6,5	11,2	14,2	12,0	7,1	1,1	-3,8	-7,6
Östersund	2,7	-8,5	-7,5	-4,3	1,1	6,8	11,3	14,5	13,1	8,6	3,2	-1,1	-4,7
Sveg	2,1	-10,3	-8,6	-4,6	1,5	7,5	11,9	14,6	12,7	7,9	2,2	-2,9	-6,9
Rommehed	4,6	-6,2	-5,7	-2,4	3,2	9,2	13,6	16,2	14,5	10,0	4,8	0,3	-2,9
Edsbyn	3,9	-7,2	-6,4	-2,8	2,9	8,7	13,2	15,8	14,1	9,3	3,8	-0,7	-4,2
Mora	3,5	-8,5	-7,7	-3,6	2,8	9,0	13,3	15,7	13,8	9,1	3,7	-1,1	-4,9
Malung	2,9	-8,9	-7,8	-4,0	2,0	8,2	12,5	15,0	13,2	8,5	3,2	-1,7	-5,4
Falun	4,6	-7,0	-6,3	-2,6	3,4	9,7	14,1	16,7	14,9	10,1	4,8	0,4	-3,4
Västerås F 1	5,9	-4,1	-4,1	-1,4	4,1	10,1	14,6	17,2	15,8	11,3	6,3	1,9	-1,0
Uppsala	5,7	-4,4	-4,5	-1,7	3,9	9,9	14,4	17,2	15,8	11,2	5,9	1,6	-1,3
Norrälje	5,9	-3,5	-3,8	-1,4	3,7	9,0	13,9	17,0	16,0	11,7	6,5	2,3	-0,7
Bromma flygplats	6,3	-3,5	-3,8	-1,2	4,2	10,0	14,7	17,6	16,4	12,0	6,8	2,5	-0,4
Stockholm	6,6	-2,9	-3,1	-0,7	4,4	10,1	14,9	17,8	16,6	12,2	7,1	2,8	0,1
Örebro	5,9	-4,0	-3,9	-1,0	4,5	10,4	14,6	17,1	15,6	11,1	6,0	1,7	-1,0
Nyköping	6,2	-3,3	-3,5	-0,8	4,3	9,7	14,4	17,1	16,1	11,8	6,6	2,4	-0,4
Norrköping	6,9	-3,0	-3,1	-0,3	5,2	10,9	15,6	18,3	17,0	12,4	7,2	2,8	0,0
Motala	6,4	-2,8	-3,2	-0,7	4,6	10,1	14,5	17,0	16,0	11,9	6,9	2,7	0,0
Linköping	6,8	-2,9	-3,0	-0,1	5,3	11,0	15,4	17,7	16,4	12,2	7,1	2,7	0,0
Karlstad flygplats	5,9	-4,3	-4,1	-1,1	4,2	10,1	14,4	17,1	15,9	11,5	6,4	2,2	-0,9
Amål	6,1	-3,7	-3,7	-0,7	4,5	10,2	14,5	16,9	15,6	11,3	6,3	2,2	-0,6
Vänersborg	6,6	-2,6	-2,8	-0,5	4,5	10,1	14,3	16,7	16,0	12,1	7,4	3,2	0,5
Skara	5,8	-3,3	-3,6	-1,1	4,7	10,2	14,3	16,5	15,2	11,0	6,3	2,3	-0,5
Strömstad	6,6	-2,9	-3,0	-0,1	4,8	10,5	14,4	16,9	16,0	12,1	7,3	2,9	0,0
Göteborg	7,9	-0,9	-1,2	1,3	6,0	11,5	15,2	17,5	16,8	13,1	8,6	4,5	1,8
Halmstad F 14	7,2	-1,6	-1,7	0,7	5,4	10,7	14,6	16,7	16,0	12,6	8,0	3,9	1,1
Kalmar F 12	7,0	-1,7	-1,9	0,0	5,1	9,8	14,5	17,2	16,3	12,3	7,6	3,6	0,9
Västervik	6,9	-2,0	-2,2	0,0	4,8	9,7	14,6	17,4	16,4	12,3	7,6	3,5	0,8
Visby	7,2	-0,6	-1,4	0,0	4,3	9,0	13,9	17,1	16,6	12,9	8,3	4,4	1,8
Ronneby	7,1	-1,5	-1,4	0,5	5,1	10,2	14,3	16,9	16,0	12,4	7,8	4,1	1,2
Karlshamn	7,6	-0,9	-0,9	1,1	5,4	10,5	14,8	17,3	16,4	12,9	8,4	4,6	1,7
Hagshults flygplats	5,6	-3,4	-3,5	-1,0	4,0	9,4	13,4	15,5	14,5	10,8	6,0	2,1	-0,6
Huskvarna	6,5	-2,4	-2,6	-0,2	4,9	10,1	14,5	16,8	15,7	11,6	6,8	3,0	0,3
Jönköping	6,1	-2,6	-3,0	-0,7	4,3	9,3	13,8	16,3	15,2	11,4	6,6	2,7	0,0
Borås	6,3	-2,9	-3,0	-0,4	4,7	10,5	14,2	16,5	15,4	11,4	6,7	2,7	-0,1
Nässjö	5,4	-4,1	-4,1	-1,2	3,9	9,6	13,7	16,1	14,8	10,7	5,7	1,5	-1,3
Åre	6,5	-2,8	-2,7	-0,1	5,0	10,5	14,6	16,6	15,6	11,6	6,8	2,8	-0,1
Malmö flygplats	8,0	-0,5	-0,7	1,4	6,0	11,0	15,0	17,2	16,7	13,5	8,9	4,9	2,0
Kristianstad	7,7	-0,9	-0,9	1,2	5,9	11,1	15,2	17,4	16,5	12,9	8,3	4,5	1,6
Lund	8,0	-0,7	-0,8	1,3	6,2	11,3	15,2	17,4	16,8	13,5	8,7	4,8	1,9
Alnarp	7,8	-0,8	-1,0	1,2	5,9	11,1	15,0	17,1	16,6	13,3	8,5	4,6	1,8
Ystad	7,8	-0,2	-0,6	1,2	5,3	10,1	14,1	16,7	16,4	13,4	9,2	5,3	2,4

Apéndice 6: Sistema de ventilación

Hay tres sistemas de ventilación en el edificio. Aquí se muestran sus esquemas y las horas de funcionamiento.

TA - 1



Horarios: (10:00 – 12:00 lunes a viernes)

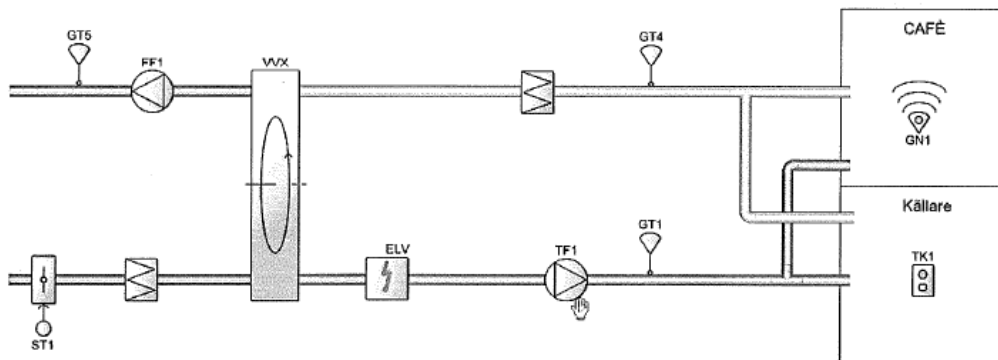
DRIFTTIDER TA1

Objekt
TA1

Drifttid
Enligt tidsschema
10:00-12:00 må-fre

Drifttidsmätning
X (aggregat)

LA - 1

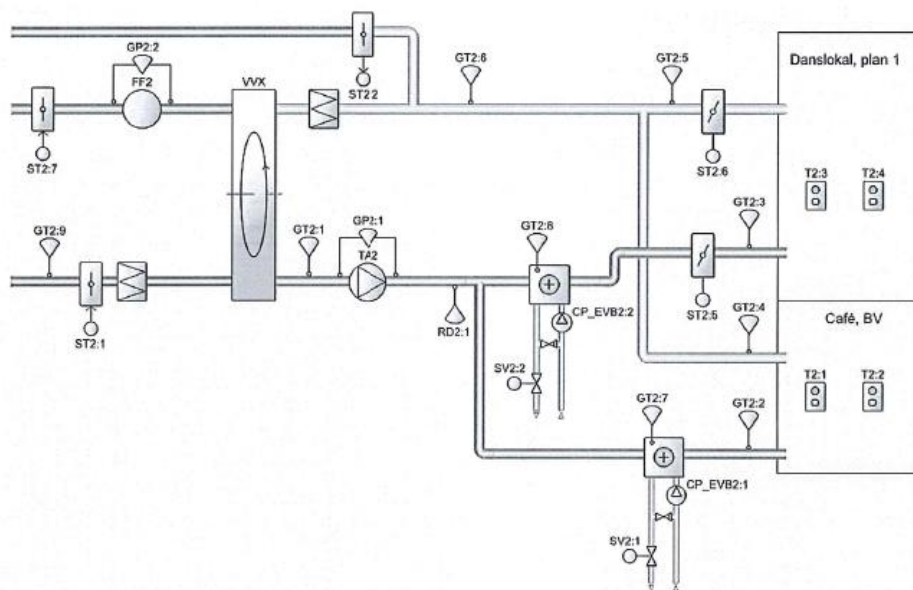


Horarios: (10:00 – 12:00 lunes a viernes)

Objekt
LA1

Drifttid
Enligt tidsschema
10:00-12:00 må-fre

TA – 2



Horarios: (10:00 – 12:00 lunes a viernes)

DRIFTTIDER TA2

Objekt
TA2

Drifttid
Enligt tidsschema
10:00-12:00 må-fre

Apéndice 7: Presupuestos reformas aislamiento

Ap 7.1 Paredes

ZFT020 m² Sistema "ISOVER" de aislamiento termoacústico y trasdosado directo interior.

Rehabilitación energética de fachadas y particiones mediante el sistema "ISOVER" de aislamiento termoacústico y trasdosado directo, formado por **placa de yeso laminado, de 13 mm de espesor, con un panel de lana de vidrio de 40 mm de espesor, Calibel "ISOVER", dimensiones 1200x2600 mm, resistencia térmica 1,55882 m²K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), recibido con pasta de agarre**, colocado en particiones interiores y por el interior de cerramientos verticales; y capa de pintura plástica con textura **lisa, color blanco, acabado mate**, con una mano de fondo y dos manos de acabado (**rendimiento: 0,125 l/m² cada mano**).

Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt12lvi010hbQc	m ²	Placa de yeso laminado de 13 mm de espesor, con un panel de lana de vidrio de 40 mm de espesor, Calibel "ISOVER", dimensiones 1200x2600 mm, resistencia térmica 1,55882 m ² K/W, conductividad térmica 0,034 W/(mK), calor específico 800 J/kgK, factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1 y Euroclase A2-s1,d0 de reacción al fuego, según UNE-EN 13162.	1,050	21,00	22,05
mt12psg035a	kg	Pasta de agarre, según UNE-EN 14496.	3,500	0,58	2,03
mt12psg030a	kg	Pasta para juntas, según UNE-EN 13963.	0,300	1,26	0,38
mt12psg040a	m	Cinta de juntas.	1,600	0,03	0,05
mt27pfj040a	l	Emulsión acrílica acuosa como fijador de superficies, incoloro, acabado brillante, aplicada con brocha, rodillo o pistola.	0,180	7,76	1,40
mt27pij040a	l	Pintura plástica para interior en dispersión acuosa, lavable, tipo II según UNE 48243, permeable al vapor de agua, color blanco, acabado mate, aplicada con brocha, rodillo o pistola.	0,250	4,43	1,11
mo052	h	Oficial 1 ^a montador de prefabricados interiores.	0,332	17,82	5,92
mo098	h	Ayudante montador de prefabricados interiores.	0,118	16,13	1,90
mo037	h	Oficial 1 ^a pintor.	0,178	17,24	3,07
mo074	h	Ayudante pintor.	0,213	16,13	3,44
	%	Medios auxiliares	2,000	41,35	0,83
	%	Costes indirectos	3,000	42,18	1,27
Coste de mantenimiento decenal: 10,08€ en los primeros 10 años.				Total:	43,45

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 13162:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación.	192013	192013	1/3/4
UNE-EN 14496:2006 Adhesivos a base de yeso para aislamiento térmico/acústico de paneles de composite y placas de yeso. Definiciones, requisitos y métodos de ensayo.	192006	192007	3/4
UNE-EN 13963:2006 Material de juntas para placas de yeso laminado. Definiciones, especificaciones y métodos de ensayo.	132006	132007	3/4
EN 13963:2005/AC:2006	112007	112007	

- (1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia
 (2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE
 (3) Sistema de evaluación y verificación de la constancia de las prestaciones

Ap 7.2 Suelo

ZHS030

m²

Sistema "ROCKWOOL" de aislamiento de solera con pavimento existente.

Rehabilitación energética de solera en contacto con el terreno, mediante el sistema "ROCKWOOL" de aislamiento térmico **por la cara superior del pavimento existente**, formado por **panel rígido de lana de roca volcánica Rocksol -E- 2 525, "ROCKWOOL", de 15 mm de espesor; barrera de vapor de film de polietileno de baja densidad (LDPE) de 0,2 mm de espesor; capa de nivelación de 40 mm de espesor, de mortero autonivelante de cemento CT - C10 - F3 según UNE-EN 13813, vertido con mezcladora-bombeadora; y pavimento de baldosas cerámicas de gres esmaltado, de 25x25 cm, 8 €/m², recibidas con adhesivo cementoso de uso exclusivo para interiores, Ci sin ninguna característica adicional, color gris y rejuntadas con lechada de cemento blanco, L, BL-V 22,5, para junta mínima (entre 1,5 y 3 mm), coloreada con la misma tonalidad de las piezas.**

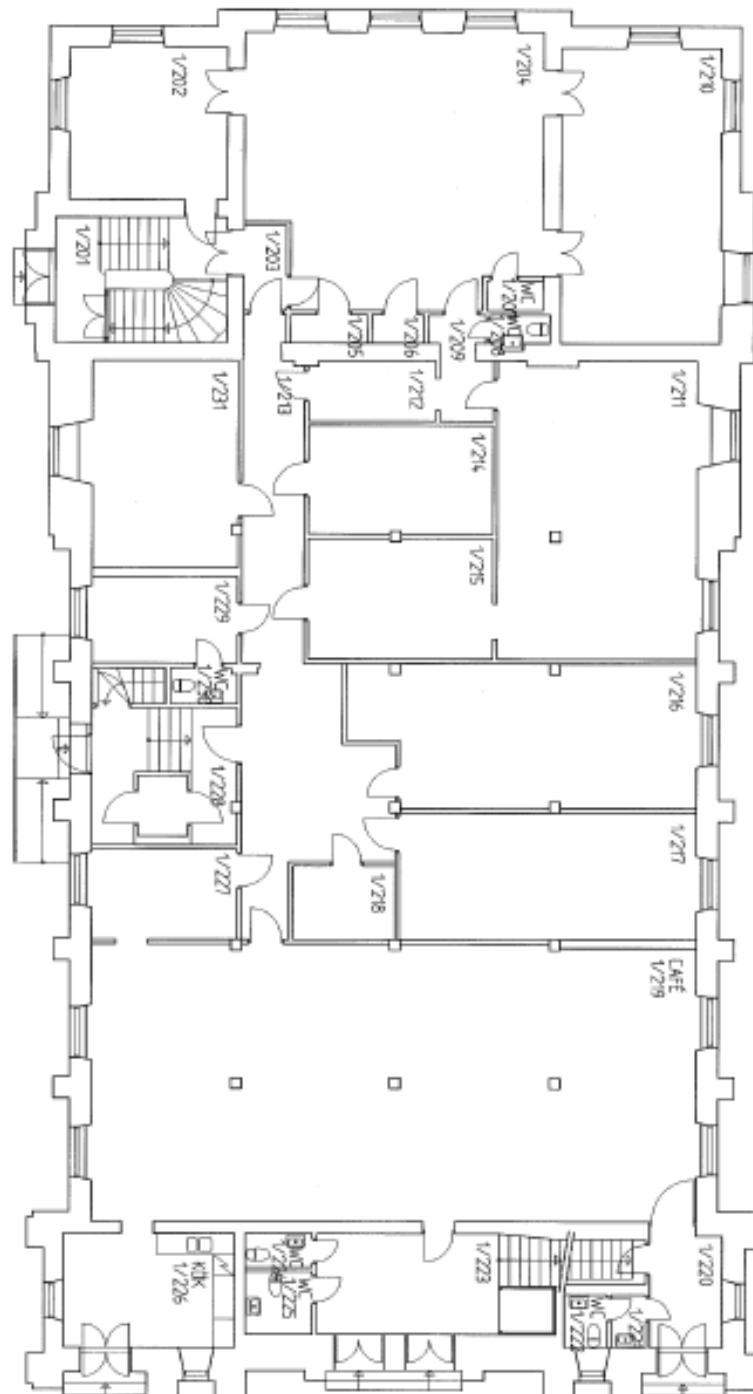
Descompuesto	Ud	Descomposición	Rend.	Precio unitario	Precio partida
mt16lrw040k	m ²	Panel rígido de lana de roca volcánica Rocksol -E- 2 525 "ROCKWOOL", según UNE-EN 13162, no revestido, de 15 mm de espesor, resistencia térmica 0,35 m ² K/W, conductividad térmica 0,041 W/(mK), densidad 150 kg/m ³ , calor específico 840 J/kgK y factor de resistencia a la difusión del vapor de agua 1,3.	1,200	4,93	5,92
mt15var010c	m ²	Barrera de vapor de film de polietileno de baja densidad (LDPE), de 0,2 mm de espesor y 200 g/m ² de masa superficial.	1,100	0,60	0,66
mt16aaa030	m	Cinta autoadhesiva para sellado de juntas.	0,250	0,30	0,08
mt09mal010a	m ³	Mortero autonivelante CT - C10 - F3 según UNE-EN 13813, a base de cemento, para espesores de 4 a 10 cm, usado en nivelación de pavimentos.	0,040	89,97	3,60
mt09mcr021a	kg	Adhesivo cementoso de uso exclusivo para interiores, Ci, color gris.	3,000	0,22	0,66
mt18bde020gak800	m ²	Baldosa cerámica de gres esmaltado 2/2/-/-, 25x25 cm, 8,00€/m ² , según UNE-EN 14411.	1,050	8,00	8,40
mt09lec010b	m ³	Lechada de cemento blanco BL 22,5 X.	0,001	157,00	0,16
mq06pym010	h	Mezcladora-bombeadora para morteros y yesos proyectados, de 3 m ³ /h.	0,018	7,96	0,14
mo019	h	Oficial 1ª construcción.	0,296	17,24	5,10
mo111	h	Peón ordinario construcción.	0,296	15,92	4,71
mo022	h	Oficial 1ª soldador.	0,474	17,24	8,17
mo059	h	Ayudante soldador.	0,237	16,13	3,82
mo027	h	Oficial 1ª instalador de pavimentos laminados.	0,024	17,24	0,41
	%	Medios auxiliares	2,000	41,83	0,84
	%	Costes indirectos	3,000	42,67	1,28
Coste de mantenimiento decenal: 2,77€ en los primeros 10 años.				Total:	43,95

Referencia norma UNE y Título de la norma transposición de norma armonizada	Aplicabilidad (1)	Obligatoriedad (2)	Sistema (3)
UNE-EN 13162:2013 Productos aislantes térmicos para aplicaciones en la edificación. Productos manufacturados de lana mineral (MW). Especificación.	192013	192013	1/3/4
UNE-EN 13813:2003 Pastas autonivelantes y pastas autonivelantes para suelos. Pastas autonivelantes. Características y especificaciones.	182003	182004	1/3/4
UNE-EN 12004:2008/A1:2012 Adhesivos para baldosas cerámicas. Requisitos, evaluación de la conformidad, clasificación y designación.	142013	172013	3
UNE-EN 14411:2013 Baldosas cerámicas. Definiciones, clasificación, características, evaluación de la conformidad y marcado.	172013	172014	3/4

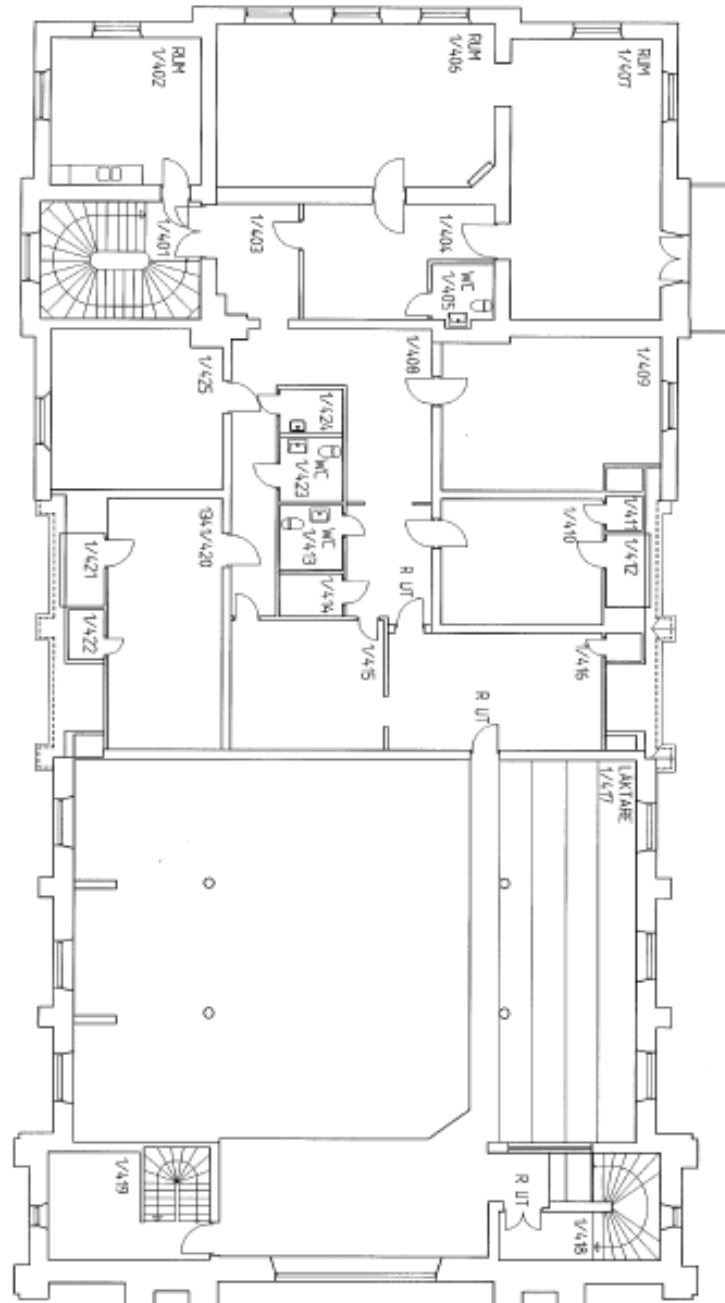
(1) Fecha de aplicabilidad de la norma armonizada e inicio del período de coexistencia

(2) Fecha final del período de coexistencia / entrada en vigor marcado CE

Ap 8.2 Primera planta



Ap 8.4 Tercera planta



Ap 8.5 Cuarta planta

