

UNIVERSIDAD DE ALCALÁ  
Escuela Politécnica Superior

**Ingeniería Técnica de Telecomunicación  
Especialidad en Sistemas Electrónicos**

Trabajo Fin de Carrera  
Auditoría energética de un edificio terciario

Autor: Antonio Colino Tarancón

Director: Pedro A. Revenga de Toro

TRIBUNAL:

Presidente: Claudio Fernández González

Vocal 1: Manuel Ureña Molina

Vocal 2: Pedro A. Revenga de Toro

CALIFICACIÓN:

FECHA:



*A mis padres y hermana, por su apoyo incondicional a lo largo de  
todos estos años.*

*A Miriam, sin su perseverancia no me habría sido posible llegar hasta aquí.*



## **RESUMEN**

La intención de este trabajo es realizar una guía para todo aquel que desee auditar desde un punto de vista energético un edificio gran terciario.

Para ello se mostrarán las bases para discriminar las causas por las que el edificio consume energía, introduciendo los conceptos de calidad energética en la construcción y los flujos de energía del edificio, ofreciendo una visión general de las técnicas para mejorar la eficiencia energética de un edificio.

También se definirá todo el proceso de ejecución de la auditoria, cronología, recolección de los datos de la propiedad, toma de medidas y su posterior análisis con el software reconocido por el Ministerio de Industria.



## **ABSTRACT**

The objective of this project is make a guide for anyone who wants to audit from an energy point of view a large building.

For this purpose basics will be explained in order to can discriminate the causes why the building consumes energy, introducing concepts like energy quality, energy flows and providing an overview of techniques for improving the energy efficiency.

All the process of implementation of the audit, timing, and data collection, taking measurements and subsequent analysis with the software recognized by the Ministry of Industry will also define.





# ÍNDICE

<b>Capítulo 1. Introducción .....</b>	<b>13</b>
1.1. Eficiencia energética.....	14
1.1.1. Introducción a la eficiencia energética.....	14
1.1.2. Impacto en el medio ambiente .....	14
<b>Capítulo 2. La demanda de energía en los edificios.....</b>	<b>17</b>
2.1. Las distintas tipologías de edificios y su demanda energética.....	18
2.1.1. Edificios residenciales: individuales, adosados y en bloque .....	18
2.1.2. Edificios no residenciales .....	19
2.2. Los flujos de energía en el edificio .....	23
2.2.1. La Conducción Térmica en Elementos Sólidos .....	25
2.2.2. La convección entre Sólidos y el Aire.....	30
2.2.3. Intercambio Radiante .....	31
2.2.4. Intercambio Latente y sensible .....	34
2.3. La calidad energética del edificio .....	36
2.3.1. Introducción.....	36
2.3.2. Orientación de los Huecos Vidriados.....	36
2.3.3. Hermeticidad y Aislamiento .....	39
2.3.4. La Ventilación Natural.....	41
2.3.5. La Inercia Térmica.....	48
2.3.6. La distribución de espacios interiores .....	49
2.3.7. El equipamiento.....	50
2.4. El código técnico de la edificación.....	51
2.4.1. El documento básico de ahorro de energía .....	52
2.4.2. La limitación del consumo energético.....	53
2.4.3. La limitación de la demanda.....	54

2.4.4. Eficiencia energética en iluminación .....	60
2.4.5. Aporte solar a la producción de ACS .....	62
2.4.6. Contribución fotovoltaica a la producción de energía eléctrica .....	62
2.5. La certificación energética de edificios .....	63
2.5.1. El objetivo de la certificación .....	63
2.5.2. El real decreto 235/2013.....	64
2.5.3. ¿Qué edificios deben certificarse? .....	64
2.5.4. ¿Cómo debe certificarse un edificio o una parte del mismo? .....	65
2.5.5. ¿Quién puede certificar los edificios? .....	66
2.5.6. Procedimiento de certificación.....	67
2.5.7. El control externo de la certificación .....	68
<b>Capítulo 3. La planificación de una auditoría energética .....</b>	<b>71</b>
3.1. Documentación previa.....	72
3.1.1. Planos de arquitectura e instalaciones.....	73
3.1.2. Facturas de energía .....	76
3.1.3. Aparatos consumidores.....	77
3.2. Análisis de la información recopilada.....	78
3.2.1. Optimización de la factura eléctrica.....	78
3.2.2. Análisis de las facturas de combustibles .....	80
3.2.3. Incertidumbres en la documentación recopilada: necesidad de medidas y/u observaciones in situ .....	81
3.3. Planificación de la auditoria .....	84
3.3.1. Definición de actividades requeridas .....	85
3.3.2. Acuerdo de visitas con la propiedad. Calendario de acciones .....	86
3.3.3. Definición del instrumental necesario .....	86
3.3.4. Software de simulación térmica y lumínica .....	87

## **Capítulo 4. Ejecución de la auditoría. Toma de datos .....89**

4.1. Revisión de los componentes del edificio. Comparación con los planos.....	90
4.1.1. Situación del edificio. Entorno inmediato.....	90
4.1.2. Composición de la envolvente: muros, cubierta, suelo, forjado y tabiques .....	91
4.1.3. Características de las ventanas: marco, vidrio, elementos de sombreado. ....	93
4.1.4. Definición de un modelo térmico .....	94
4.2. Inventario de los elementos consumidores del edificio .....	96
4.2.1. Características de los sistemas de climatización y ACS.....	96
4.2.2. Características de los sistemas de iluminación .....	111
4.2.3. Características del sistema ACS.....	112
4.2.4. Definición del modelo térmico en CALENER-GT.....	113
4.3. Uso y funcionamiento del edificio .....	113
4.4. Estimación de la distribución de los consumos .....	114

## **Capítulo 5. Cálculo de la demanda energética mediante LIDER. 117**

5.1. Evaluación de la demanda con el programa LIDER (Limitación de la Demanda Energética).....	118
5.1.1. Introducción de datos en el programa.....	119
5.1.2. Definición de materiales.....	120
5.1.3. Definición de elementos constructivos .....	121
5.1.4. Cargas internas y climatización.....	121
5.1.5. Metodología del cálculo.....	122

## **Capítulo 6. Calificación energética mediante CALENER..... 125**

6.1. Certificación energética con el programa CALENER.....	127
6.2. Metodología de cálculo. ....	130
6.3. Definición de sistemas y componentes del edificio.....	130
6.3.1. Demanda de ACS.....	131
6.3.2. Unidades terminales, Equipos, Sistemas y factores de corrección.....	131

<b>Capítulo 7. Calificación energética mediante CE3X.....</b>	<b>135</b>
<b>Capítulo 8. Propuestas de soluciones de Eficiencia Energética..</b>	<b>139</b>
8.1. Mejora de la envolvente térmica.....	141
8.1.1. Mejora del aislamiento en paramentos opacos .....	141
8.1.2. Mejora de las características de las ventanas: marcos y vidrios .....	142
8.1.3. Colocación/modificación de sistemas de sombreado.....	144
8.2. Mejora del sistema de climatización .....	148
8.2.1. Generación.....	148
8.2.2. Uso de energías renovables. Biomasa, energía solar y geotermia .....	162
8.2.3. Distribución de la energía.....	163
8.2.4. Unidades terminales .....	168
8.2.5. Controles automáticos .....	176
8.3. Mejora de la iluminación.....	178
8.3.1. Tipología de lámparas.....	179
8.3.2. Balastos electrónicos .....	183
8.3.3. Control eficiente .....	184
8.4. Evaluación Técnico – Económica de las soluciones propuestas.....	186
8.4.1. Calculo de ahorro energético producido .....	186
8.4.2. Costes inversión.....	188
8.4.3. Análisis económico de la propuesta. ....	189
<b>Capítulo 9. Ejemplo de calificación energética y propuesta de mejoras de un edificio terciario con CE3X.....</b>	<b>191</b>
9.1. Descripción general del edificio .....	192
9.2. Introducción de los datos en el programa.....	193
9.2.1. Datos administrativos y generales del edificio .....	193
9.2.2. Envolvente térmica .....	195
9.2.3. Huecos .....	199

9.2.4. Puentes térmicos.....	200
9.2.5. Instalaciones .....	202
9.3. Obtención de la calificación energética.....	209
9.4. Definición de las medidas de mejora .....	210
9.4.1. Medida 1. Caldera de biomasa .....	210
9.4.2. Medida 2. Reducción de la potencia instalada en iluminación.....	212
9.4.3. Conjunto de las medidas anteriores.....	214
9.5. Análisis económico.....	214
9.6. Informe generado por CE3X.....	218
<b>Bibliografía.....</b>	<b>219</b>
<b>Enlaces .....</b>	<b>221</b>



# ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 DISTRIBUCIÓN DE LOS CONSUMOS EN UN EDIFICIO RESIDENCIAL .....	19
FIGURA 2 DISTRIBUCIÓN DE LOS CONSUMOS EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO.....	20
FIGURA 3 DISTRIBUCIÓN MEDIA DE CONSUMOS EN UN EDIFICIO EDUCACIONAL .....	21
FIGURA 4 DISTRIBUCIÓN MEDIA DE CONSUMOS EN UN EDIFICIO SANITARIO .....	22
FIGURA 5 DISTRIBUCIÓN MEDIA DE CONSUMOS EN UN EDIFICIO HABITACIONAL.....	23
FIGURA 6 FLUJO DE CALOR POR CONDUCCIÓN TRIDIMENSIONAL.....	26
FIGURA 7 FLUJO DE CALOR UNIDIMENSIONAL.....	27
FIGURA 8 COMPOSICIÓN DE UN MURO MULTICAPA TÍPICO DE LA CONSTRUCCIÓN .....	28
FIGURA 9 PUENTE TÉRMICO.....	28
FIGURA 10 PUENTE TÉRMICO CORREGIDO .....	29
FIGURA 11 ESQUEMA DE LOS DIFERENTES PROCESOS DE TRANSFERENCIA DE LA ENERGÍA RADIANTE.....	32
FIGURA 12 INCIDENCIA SOLAR EN FACHADO SUR DURANTE LOS SOLSTICIOS DE INVIERNO Y VERANO AL MEDIODÍA SOLAR.....	37
FIGURA 13 VARIACIÓN DE LA DEMANDA EN FUNCIÓN DEL ESPESOR DE AISLAMIENTO .....	39
FIGURA 14 GRAFICA TEMPERATURAS .....	43
FIGURA 15 ESQUEMAS DE FUNCIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES TÉCNICAS DE VENTILACIÓN.....	44
FIGURA 16 PERFIL DE VELOCIDADES EN UNA VENTANA CON VENTILACIÓN SIMPLE Y CRUZADA.....	45
FIGURA 17 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO DE LA CHIMENEA SOLAR .....	46
FIGURA 18 DISEÑO DE UNA CHIMENEA SOLAR TOMANDO EL AIRE FRESCO DE UN SÓTANO .....	47
FIGURA 19 ESTRUCTURA DEL CÓDIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN.....	52
FIGURA 20 FORMATO DE LA ETIQUETA ENERGÉTICA PARA LOS EDIFICIOS .....	68
FIGURA 21 LÍNEAS ISOLUX EN UNA DE LAS SALAS CON ILUMINACIÓN NATURAL EN UN DÍA DESPEJADO DE VERANO..	88
FIGURA 22 IMAGEN RENDERIZADA DE LA MISMA SALA QUE LA FIGURA ANTERIOR. ....	88
FIGURA 23 DEFINICIÓN DEL MODELO TÉRMICO DE UN EDIFICIO EN EL CALENER-GT .....	95
FIGURA 24 SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN COMPLETO. ....	98
FIGURA 25 MEDIDA DEL RENDIMIENTO INSTANTÁNEO DE UNA CALDERA.....	100
FIGURA 26 ESQUEMA DEL FUNCIONAMIENTO DE UNA BOMBA DE CALOR. ....	102
FIGURA 27 CICLO TERMODINÁMICO DE LA BOMBA DE CALOR.....	103

FIGURA 28 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE LOS INTERCAMBIADORES DE CONTRACORRIENTE PURA Y CORRIENTES PARALELAS.....	106
FIGURA 29 BALANCE ENERGÉTICO POR TECNOLOGÍAS DE LA EPS.....	115
FIGURA 30 PROCESO DE DEFINICIÓN TÉRMICA DEL EDIFICIO EN EL MODELO DE SIMULACIÓN.....	116
FIGURA 31 CALENER GT.....	127
FIGURA 32 PROCESO DE CÁLCULO DE CE3X.....	137
FIGURA 33 DIFERENTES MODOS DE COLOCAR EL AISLAMIENTO EN UNA REHABILITACIÓN DEL EDIFICIO .....	141
FIGURA 34 VOLADIZO PARA PROTECCIÓN SOLAR DE SUPERFICIES VIDRIADAS.....	145
FIGURA 35 LAMAS PARA INTERCEPTAR LA RADIACIÓN SOLAR CON ÁNGULOS DE INCIDENCIA BAJOS.....	146
FIGURA 36 VISTA INTERIOR DE UNA CALDERA PIRO TUBULAR. (CATALOGO VISSMANN).....	149
FIGURA 37 RENDIMIENTO MÍNIMO EXIGIDO A LAS DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE CALDERA .....	151
FIGURA 38 RANGO DE USO DE LAS BOMBAS DE CALOR CON EL COP ASOCIADO QUE SUELEN TENER .....	158
FIGURA 39 VARIACIÓN DE LA TEMPERATURA DE EVAPORACIÓN EN FUNCIÓN DE LA PRESIÓN ABSOLUTA.....	159
FIGURA 40 CICLO TÉRMICO DE LA SOLUCIÓN DE LiBr, AGUA EN MÁQUINA DE ABSORCIÓN.....	161
FIGURA 41 CLASIFICACIÓN DE BOMBAS DE CALOR EN MODO DE REFRIGERACIÓN PARA USOS DE PEQUEÑAS POTENCIAS .....	162
FIGURA 42 DIFERENTES TIPOS DE ALMACENAMIENTO DE BIOMASA PARA SU USO EN CALDERAS.....	163
FIGURA 43 ESQUEMA DE UN SISTEMA DE CLIMATIZACIÓN.....	164
FIGURA 44 ESQUEMA DE UN RECUPERADOR DE CALOR DEL AIRE DE VENTILACIÓN .....	165
FIGURA 45 VARIACIÓN DE LA POTENCIA DE UN RADIADOR EN FUNCIÓN DEL SALTO TÉRMICO DEL MISMO CON LA TEMPERATURA AMBIENTE. ....	169
FIGURA 46 DIFERENTES CURVAS DE GRADIENTE TÉRMICO EN FUNCIÓN DEL TIPO DE SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN DE LA ENERGÍA UTILIZADO. ....	171
FIGURA 47 DISEÑO DE UN SUELO RADIANTE PARA CONTROLAR LA TEMPERATURA DE IMPULSIÓN Y PARA CONSEGUIR UNA DISTRIBUCIÓN UNIFORME DE LA TEMPERATURA EN TODO EL SUELO DE LA ESTANCIA ACONDICIONADA.....	172
FIGURA 48 EJECUCIÓN REAL DE UN SUELO RADIANTE CON TODOS LOS ELEMENTOS QUE LO COMPONEN.....	173
FIGURA 49 VENTILOCONVECTOR O FAN-COIL.....	175
FIGURA 50 DISTRIBUCIÓN DE LOS TIPOS DE CONTROL EN UN EDIFICIO ADMINISTRATIVO.....	186
FIGURA 51 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS ADMINISTRATIVOS.....	193
FIGURA 52 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS GENERALES .....	195



FIGURA 53 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LA ENVOLVENTE TÉRMICA. CUADRO DE DEFINICIÓN DE ZONAS .....	196
FIGURA 54 PANTALLA DE DEFINICIÓN DEL MURO DE FACHADA. FACHADA NO. VESTÍBULO PB.....	198
FIGURA 55 PANTALLA DE DEFINICIÓN DEL SUELO EN CONTACTO CON EL TERRENO. SUELO CAFETERÍA PB.....	198
FIGURA 56 PANTALLA DEFINICIÓN DE LA CUBIERTA EN CONTACTO CON AIRE.....	199
FIGURA 57 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LOS HUECOS. VENTANA NO VESTÍBULO .....	200
FIGURA 58 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE PUENTE TÉRMICO.....	202
FIGURA 59 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. EQUIPO DE ACS.....	203
FIGURA 60 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. EQUIPO DE CALEFACCIÓN .....	204
FIGURA 61 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. EQUIPOS DE REFRIGERACIÓN....	205
FIGURA 62 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. EQUIPO DE AIRE PRIMARIO .....	206
FIGURA 63 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. CLIMATIZADORES .....	207
FIGURA 64 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. EQUIPOS DE BOMBEO PRIMARIO DE CALDERA.....	208
FIGURA 65 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS DE LAS INSTALACIONES. ILUMINACIÓN VESTÍBULO .....	209
FIGURA 66 PANTALLA DE RESULTADOS DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA.....	210
FIGURA 67 CUADRO DE MEDIDA DE MEJORA EN LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN. MEDIDA 1: DEFINICIÓN DE LA CALDERA DE BIOMASA.....	211
FIGURA 68 CUADRO DE MEDIDA DE MEJORA EN LA INSTALACIÓN DE CALEFACCIÓN. MEDIDA 1: DEFINICIÓN DE LA CALDERA DE GAS DE APOYO.....	211
FIGURA 69 CALIFICACIÓN OBTENIDA TRAS MEDIDA 1 .....	212
FIGURA 70 CUADRO DE MEDIDA DE MEJORA EN LA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN. VESTÍBULO .....	212
FIGURA 71 CUADRO DE MEDIDA DE MEJORA EN LA INSTALACIÓN DE ILUMINACIÓN. CAFETERÍA .....	213
FIGURA 72 CALIFICACIÓN OBTENIDA TRAS MEDIDA 2 .....	213
FIGURA 73 CALIFICACIÓN OBTENIDA TRAS LA APLICACIÓN DE LAS MEDIDAS ANTERIORES.....	214
FIGURA 74 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS DATOS ECONÓMICOS .....	215
FIGURA 75 PANTALLA DE INTRODUCCIÓN DE LOS COSTES DE LAS MEDIDAS .....	216
FIGURA 76 PANTALLA DE ADVERTENCIA DE RESULTADO TEÓRICO.....	217
FIGURA 77 ANÁLISIS ECONÓMICO DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS.....	217



# ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 VALOR BASE Y FACTOR CORRECTOR POR SUPERFICIE DEL CONSUMO ENERGÉTICO .....	54
TABLA 2 EXIGENCIAS PARA LA ENVOLVENTE DEL EDIFICIO EN EL DB-HE, PARA UN EDIFICIO SITUADO EN LA ZONA CLIMÁTICA D3.....	56
TABLA 3 EXIGENCIAS PARA LOS PARAMENTOS INTERIORES EN EL DB-HE .....	56
TABLA 4 EXIGENCIA PARA LOS PARÁMETROS INTERIORES QUE SEPARAN ZONAS DEL MISMO USO .....	57
TABLA 5 COEFICIENTES PARA DETERMINAR LA DEMANDA MÁXIMA PERMITIDA EN CALEFACCIÓN.....	59
TABLA 6 LIMITACIÓN DE LA DEMANDA DE LOS EDIFICIOS DISTINTOS A USO RESIDENCIA PRIVADO, COMPARADO CON EL CONSUMO DEL EDIFICIO DE REFERENCIA .....	59
TABLA 7 EXIGENCIAS PARA EL VEEI EN DIFERENTES ESPACIOS .....	60
TABLA 8 LIMITACIÓN DE LA POTENCIA INSTALADA EN ILUMINACIÓN, EN FUNCIÓN DEL TIPO DE EDIFICIO .....	61
TABLA 9 PORCENTAJE DE ENERGÍA SOLAR TÉRMICA PARA CUBRIR LA DEMANDA DE ACS EN LOS EDIFICIOS.....	62
TABLA 10 PARÁMETRO C EN FUNCIÓN DE ZONA CLIMÁTICA .....	63
TABLA 11 PODER CALORÍFICO DE ALGUNOS COMBUSTIBLES .....	105
TABLA 12 ÍNDICES DE CALIFICACIÓN DE EDIFICIOS .....	129
TABLA 13 TIPOS DE VIDRIO Y RECOMENDACIONES DE USO .....	144
TABLA 14 SISTEMAS DE SOMBREADO.....	148
TABLA 15 DIFERENTES TECNOLOGÍAS DE BOMBAS DE CALOR SEGÚN EL MEDIO FÍSICO E EL QUE SE REALIZA LA TRANSFERENCIA TÉRMICA.....	156
TABLA 16 ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (MM) DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS QUE TRANSPORTAN FLUIDOS CALIENTES QUE DISCURREN POR EL INTERIOR DE EDIFICIOS.....	167
TABLA 17 ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (MM) DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS QUE TRANSPORTAN FLUIDOS CALIENTES QUE DISCURREN POR EL EXTERIOR DE EDIFICIOS .....	167
TABLA 18 ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (MM) DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS QUE TRANSPORTAN FLUIDOS FRÍOS QUE DISCURREN POR EL INTERIOR DE EDIFICIOS.....	167
TABLA 19 ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (MM) DE TUBERÍAS Y ACCESORIOS QUE TRANSPORTAN FLUIDOS FRÍOS QUE DISCURREN POR EL EXTERIOR DE EDIFICIOS .....	167
TABLA 20 ESPESORES MÍNIMOS DE AISLAMIENTO (MM) PARA CONDUCTOS QUE TRANSPORTAN AIRE .....	168
TABLA 21 VELOCIDADES DEL AIRE EN LA ZONA OCUPADA DE UN LOCAL .....	176
TABLA 22 VELOCIDADES RECOMENDADAS EN LAS COBAS DE SALIDA.....	176
TABLA 23 COMPARATIVA ENTRE LÁMPARAS INCANDESCENTES Y LFC .....	181

TABLA 24 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LAS LÁMPARAS DE DESCARGA .....	182
TABLA 25 COMPARATIVA LÁMPARA CONVENCIONAL FRENTE A LED .....	183
TABLA 26 MASA DE LAS PARTICIONES (MANUAL DE FUNDAMENTOS TÉCNICOS).....	194
TABLA 27 DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DEL EDIFICIO .....	195
TABLA 28 DATOS ENVOLVENTE TÉRMICA DEL EDIFICIO .....	197
TABLA 29 DESCRIPCIÓN DE LOS HUECOS DEL EDIFICIO.....	200
TABLA 30 PUENTES TÉRMICOS DE CADA CERRAMIENTO .....	201
TABLA 31 DATOS ACS DEL EDIFICIO.....	202
TABLA 32 DATOS CALEFACCIÓN DEL EDIFICIO .....	203
TABLA 33 DATOS EQUIPOS AIRE PRIMARIO DEL EDIFICIO .....	205
TABLA 34 PARÁMETROS ECONÓMICOS .....	214
TABLA 35 PRECIO DE LA ENERGÍA .....	214
TABLA 36 COSTES ECONÓMICOS DE LAS MEDIDAS PROPUESTAS .....	215

# Capítulo 1. Introducción

## 1.1. Eficiencia energética

### 1.1.1. Introducción a la eficiencia energética

La eficiencia energética es un instrumento fundamental para dar respuesta a los cuatro grandes retos del sector energético mundial: el cambio climático, la calidad y seguridad del suministro, la evolución de los mercados y la disponibilidad de fuentes de energía.

De un modo general, se puede definir la eficiencia energética como la relación entre la energía consumida y los servicios finales obtenidos. Una definición más completa, y quizás más acertada de este término, es la reducción del consumo de energía manteniendo los mismos servicios energéticos, sin disminuir el confort y calidad de vida, protegiendo el medio ambiente, asegurando el abastecimiento y fomentando un comportamiento sostenible en su uso.

Los motivos y situaciones por los que la eficiencia energética son diversos pero son fundamentales en el desarrollo de la sociedad. Los individuos y las organizaciones que son consumidores directos de la energía pueden desear ahorrar energía para reducir costes energéticos y promover sostenibilidad económica, política y ambiental. Por su parte, los usuarios industriales y comerciales pueden desear aumentar la eficacia en su producción y maximizar así su beneficio.

### 1.1.2. Impacto en el medio ambiente

En cuanto al impacto en el medio ambiente hay dos aspectos fundamentales a tener en cuenta. El primero es que la tecnología moderna consume grandes cantidades de electricidad. Ésta es normalmente generada en una planta energética que convierte otras clases de energía en electricidad, Cada sistema de generación de energía tiene ventajas e inconvenientes, pero la mayoría de ellos plantean preocupaciones medioambientales. El segundo aspecto a tener en cuenta es la cantidad de energía consumida para el bienestar de los usuarios, como en el caso de la calefacción (gas, gasóleo, carbón, etc.).

Para evaluar el impacto total de la generación de electricidad se debe incluir los efectos de cada una de las etapas involucradas en este proceso. Esto es debido a que toda industria debe responsabilizarse de todos los aspectos de la producción de la misma. Es decir, no es suficiente observar cuál es el impacto ambiental y sobre la salud de la población de una central eléctrica cuando está operando, sino que además, se debe contabilizar el impacto ambiental de la obtención y procesamiento de las materias primas necesarias para construirla, operarla y también para transportar la energía eléctrica producida hasta los centros de consumo, el impacto del transporte de dichos materiales, el impacto ambiental de las líneas de transmisión, etc. Está claro que cuando se hacen comparaciones entre las distintas alternativas tecnológicas debe tenerse en cuenta el impacto por megavatio-hora (*MWh*) generado o por megavatio (*MW*) instalado.

Al utilizar los combustibles fósiles (carbón, gasoil, gas, etc.) tanto directamente para calefacción, como indirectamente para producir energía eléctrica, se generan, en el proceso de combustión, compuestos de azufre y nitrógeno, partículas (cenizas), metano, monóxido y dióxido de carbono, cloro-flúor-carbonados (CFC), etc. Estas sustancias están en el humo liberado al medio ambiente. Dichas sustancias, suspendidas en el aire, causan efectos en la salud que, según su concentración en el aire, pueden provocar mortalidad. Estos efectos van desde afecciones pulmonares y cáncer hasta posibles mutaciones genéticas. Más concretamente, el dióxido de carbono y el metano intervienen en el llamado efecto invernadero, que produce un calentamiento de la atmósfera. Además, de causar importantes efectos en el clima que repercuten en los cultivos, se produce un paulatino derretimiento del hielo polar.





## Capítulo 2. La demanda de energía en los edificios.

## 2.1. Las distintas tipologías de edificios y su demanda energética

La demanda de energía de un edificio varía en función de su uso. Aplicaciones que apenas pueden ser relevantes en un tipo de edificio pueden ser críticas en otros. Así por ejemplo la iluminación en una vivienda supone en torno al 8% del consumo total, en un edificio administrativo puede suponer cerca del 50% del consumo total.

En este apartado se va a diferenciar cuales son los principales focos del consumo energético en las diferentes categorías de edificios.

Ello no significa que todos los edificios de una misma tipología tengan el mismo comportamiento, sino que representan una media del comportamiento del sector, pudiendo encontrarnos casos que no cumplen con lo que a continuación se expresa.

En principio voy a centrar el análisis de los consumos en edificios en los siguientes capítulos:

- Climatización: distinguiendo entre calefacción y refrigeración.
- Agua caliente sanitaria.
- Iluminación.
- Aplicaciones (que varían en función de la tipología: electrodomésticos, equipos ofimáticos, etc.)

### 2.1.1. Edificios residenciales: individuales, adosados y en bloque

A pesar de la diferencia que hacemos para la tipología de edificios residenciales las pautas de consumo son similares en todos ellos, si bien la demanda de climatización aumenta en las viviendas individuales debido a la baja compactidad (mucha superficie exterior para el volumen que encierran).

En los edificios residenciales en altura esta demanda disminuye al ser más compactos: Existen viviendas que están completamente rodeadas por otras viviendas excepto en una o dos caras.

Se introduce un primer concepto que tiene que ver con la eficiencia energética, la compacidad:

$$COMPACIDAD = \frac{SUPERFICIE}{VOLUMEN}$$

De forma general el consumo energético de un edificio residencial se distribuye de la siguiente manera:

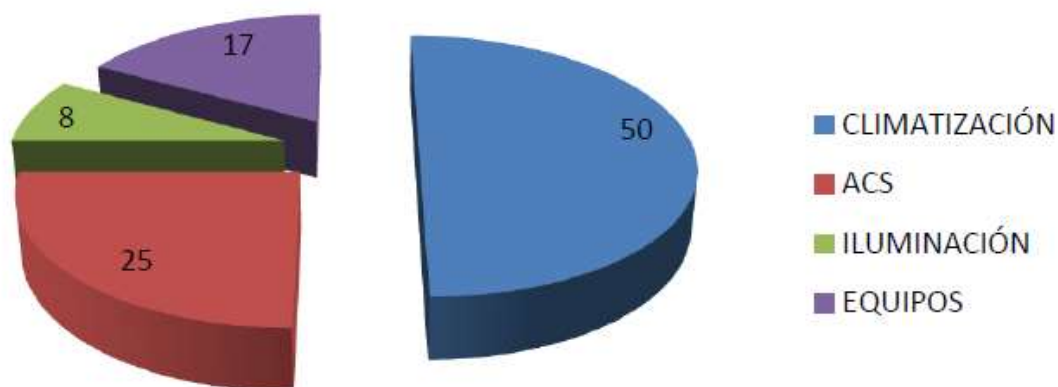


Figura 1 Distribución de los consumos en un edificio residencial

### 2.1.2. Edificios no residenciales

Aunque no sean los edificios más abundantes, que corresponde a los edificios residenciales, en el parque edificatorio presentan unas características que los hacen más interesantes que los residenciales:

- Un consumo energético elevado (por las dimensiones del edificio) y que suele estar gestionado en un único punto de suministro, por lo que la cantidad absoluta es elevada.
- Entienden de una manera más fácil lo que significa rentabilidad frente a un edificio residencial cuyo factor crítico es el coste de la reforma.

### Administrativos

Los edificios administrativos se caracterizan, desde el punto de vista energético, por lo siguiente:

- Tienen una elevada proporción de consumo energético en iluminación.
- Tienen una importante discontinuidad en la ocupación: Horarios marcados, fines de semana, festivos en los que no presentan ocupación.
- Suelen tener sistemas centralizados de climatización, siendo muy común que disponga de servicio tanto de calefacción como de refrigeración.
- El ACS es un consumo muy bajo.
- Los aparatos tienen una proporción menor que la climatización y la iluminación, pero es significativa su aportación al consumo total.

Este tipo de edificios tiene una distribución de consumos como la que se refleja en la siguiente figura:

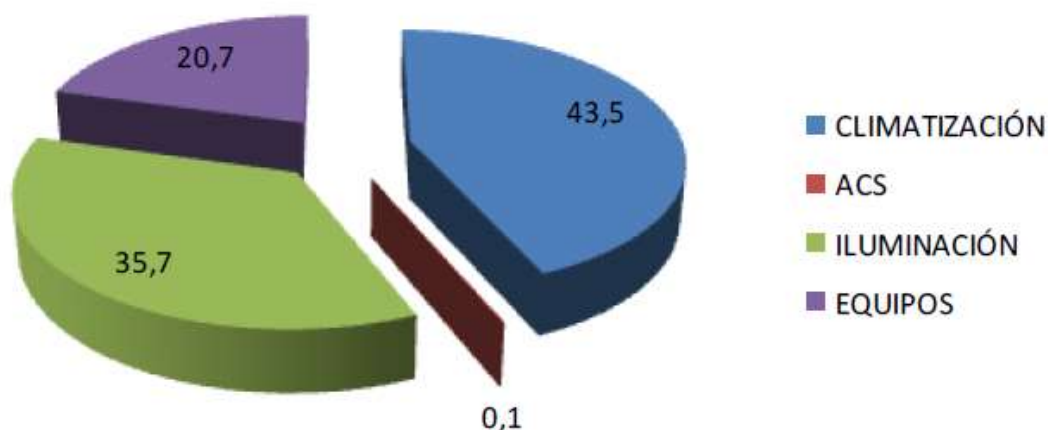


Figura 2 Distribución de los consumos en un edificio administrativo

## Educativos

Estos edificios tienen semejanzas con los administrativos ya que tienen, de una manera más acusada incluso, una gran intermitencia. La diferencia con los primeros son los prolongados periodos vacacionales que ocurren tres veces al año.

Una característica destacable, además de la anterior, es la elevada ocupación que presentan, sobre todo las aulas, donde el ratio de ocupación es cercano a  $1m^2$ / persona. Esto genera unas ganancias internas que si bien van a ser muy

beneficiosas en invierno por la disminución de la demanda de energía para calefacción, son tremendamente perjudiciales durante los periodos intermedios, requiriendo refrigeración para mitigar esta alta ganancia.

Presentan consumos importantes en ACS debido a que muchos de ellos poseen una dotación considerable de duchas y lavabos.

Por otro lado también tiene una importante dotación en equipos, si bien suele ser netamente inferior a los edificios administrativos, comparando el número de ocupantes o con la superficie construida del edificio el ratio de consumo de aparatos es inferior que en la mayoría de edificios.

La distribución de consumos es la que se refleja en la siguiente figura. Como se puede apreciar el principal consumo energético es el que se dedica a climatización del edificio. La iluminación y equipamiento supone un 30% del consumo total.

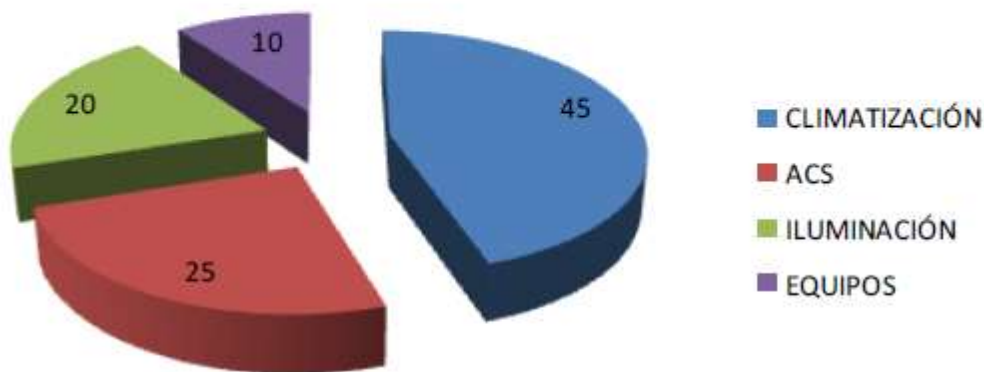


Figura 3 Distribución media de consumos en un edificio educacional

## Sanitarios

Estos son los edificios que, por norma general, presentan los mayores ratios de consumo energético, sobre todo los hospitales los cuales presentan las siguientes características:

- Tienen una ocupación permanente que: 24 horas al día 365 días al año, en una gran parte de sus instalaciones: urgencias, hospitalización y todos los servicios anexos a ello.

- Presentan un alto grado de ocupación (pacientes, visitas y profesionales).
- Requieren de condiciones térmicas especiales, ya que los pacientes requieren de temperaturas más elevadas de lo habitual.

Asimismo presentan demandas muy elevadas en todos los aspectos analizados en este documento:

- Climatización
- ACS
- Iluminación
- Equipos

Desde el punto de vista de auditorías energéticas es la tipología de edificios sobre los que mayor rendimiento se puede sacar de un análisis energético.

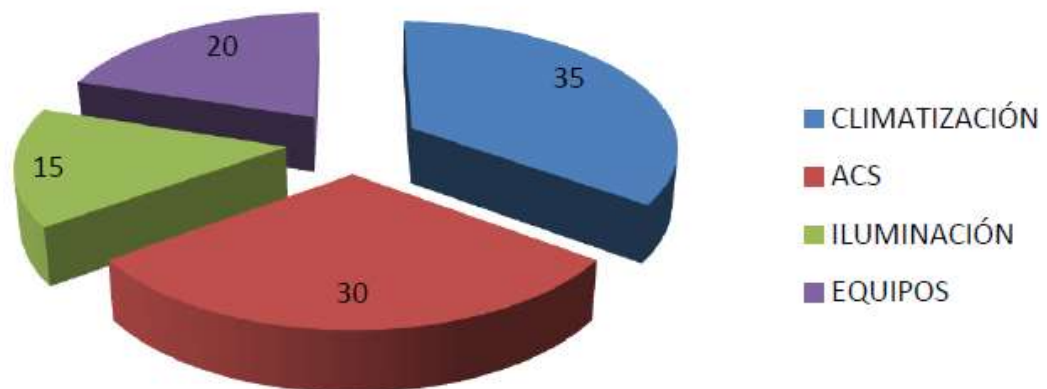


Figura 4 Distribución media de consumos en un edificio sanitario

### **Habitacionales: Hoteles, Residencias etc.**

Son similares, en cuanto a la distribución de consumos que los edificios residenciales, si bien con órdenes de magnitud superiores a estos, ya que es una constante que la cantidad, por ejemplo, de ACS que se consume en un hotel por cliente es muy superior a la correspondiente a la que se consume en las viviendas por habitante.

La distribución de consumos es similar a la de las viviendas, tal como se aprecia en la siguiente figura.

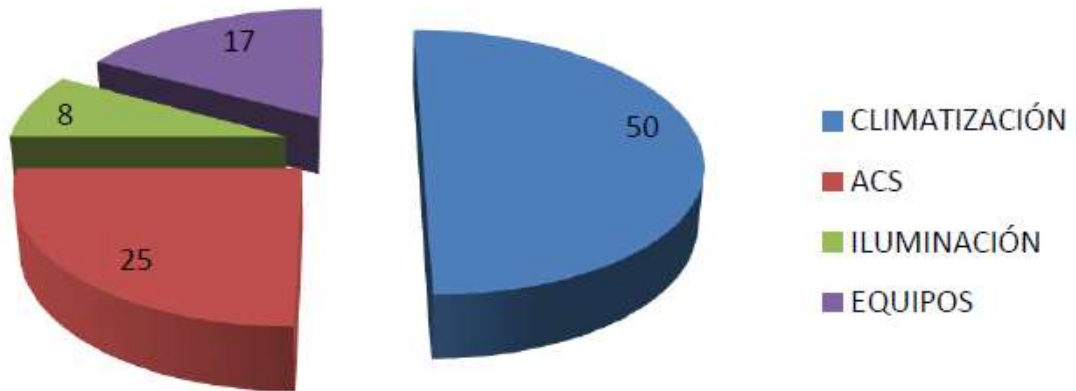


Figura 5 Distribución media de consumos en un edificio habitacional

## Otros

Dada la complejidad que en forma general presentan los edificios es necesario desarrollar trabajos de forma específica para cada uno de ellos.

Dentro de esta categoría se puede encontrar una variedad importante por lo que debería hacerse el protocolo que a continuación se describe con el fin de identificar las características particulares que se presente.

Se obtendrá de este modo la distribución de consumos energéticos así como las soluciones más adecuadas para el caso particular.

## 2.2. Los flujos de energía en el edificio

Abordar el diseño de un edificio es una tarea compleja ya que la cantidad de parámetros que deben tenerse en consideración es muy elevada. A pesar de ello, la inclusión de la energía como un parámetro importante a tener en cuenta, debe convertirse en una práctica habitual en el proceso de diseño.

Para ello es imprescindible tener conocimientos básicos de transmisión de calor y aplicarlos de manera inteligente, original y atrevida en el diseño del edificio. Ello dará, sin duda, edificios atractivos desde el punto de vista estético y, lo que es más importante, edificios confortables, de bajos costes energéticos y más sostenibles.

Desde el punto de vista energético, que es el que nos atañe, puede considerarse al edificio como un sistema termodinámico limitado por unas paredes diabáticas (permiten el intercambio de energía y de masa) y que está sometido a una serie de fuerzas (condiciones climáticas y equipos mecánicos) que determinan su evolución térmica a lo largo del tiempo.

El edificio actúa como un filtro que modula las condiciones exteriores, generando en su interior un microclima especial que pretende satisfacer las necesidades del ser humano. Esta modulación se produce amortiguando y desplazando la onda térmica exterior. De hecho la pretensión del edificio es mantener invariantes, y dentro del rango de confort, las condiciones de temperatura, humedad y calidad del aire interior independientemente de las condiciones exteriores. Si todo ello se consigue con un consumo de energía mínimo estaríamos hablando de un edificio ideal.

Esta modulación se produce a través de los mecanismos de transferencia de calor y masa, cuyas causas principales son:

1. La diferencia de temperatura entre el interior y el exterior que provoca un flujo de energía entre ambos ambientes.
2. La radiación solar que produce unas ganancias de energía en el espacio interior.
3. La generación o absorción de energía por los equipos de climatización del edificio.
4. La diferencia de presión entre el interior y el exterior que produce un flujo de aire.
5. Las ganancias internas producidas por la disipación de calor de los equipos y de los propios ocupantes.

Los mecanismos fundamentales que producen el tránsito de energía desde el edificio hacia el exterior o viceversa son los siguientes:

1. La conducción, debida a la diferencia de temperatura entre las partes sólidas del edificio.
2. La convección, entre las partes sólidas del edificio y el aire, tanto interior como exterior.
3. La radiación, captada a través de los vidrios expuestos al sol.



4. El intercambio de masas de aire a diferente temperatura y humedad, entre el interior y el exterior.

Como se ve, las fuerzas que producen el trasiego de energía desde un punto a otro del edificio, o desde el edificio al exterior, son de dos naturalezas: El clima y los equipos acondicionadores instalados, ya sean generadores de energía (calderas, aire acondicionado, etc.) o para mover el aire interior (ventiladores).

### 2.2.1. La Conducción Térmica en Elementos Sólidos

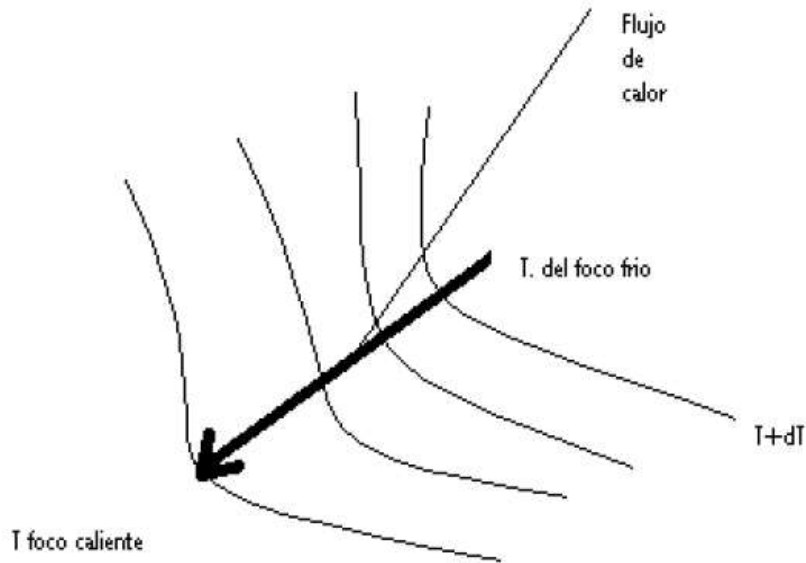
La conducción de calor se produce en los elementos sólidos. El flujo de energía se transfiere de modo natural desde los puntos más calientes del sólido a los más fríos. En sistemas aislados (en aquellos en que no existe transferencia de energía ni masa con los alrededores) este trasiego de calor se usa para aumentar la temperatura de los puntos fríos disminuyendo la de los puntos calientes, hasta que se igualen ambas, con lo que se llegaría al equilibrio térmico. Este estado en un sistema aislado no se abandona de forma espontánea.

La ley que rige los flujos de calor entre dos puntos de un sólido a diferente temperatura es la conocida como ley de Fourier, expresada en la siguiente ecuación:

$$\varphi(\vec{r}, t) = -\lambda \nabla T(\vec{r}, t)$$

Donde  $\varphi(\vec{r}, t)$  es el flujo de calor del elemento de sólido situado en el punto  $r$ , en el tiempo  $t$ , cuyo valor depende de la conductividad térmica del sólido ( $\lambda$ ) y del gradiente de temperaturas en el punto.

En la siguiente figura se presenta el sentido del flujo de calor dependiendo del gradiente de temperatura en el sólido.



**Figura 6 Flujo de calor por conducción tridimensional**

En el edificio, las paredes, techos y suelos son sólidos, en general heterogéneos, compuestos por diferentes capas, cuyo principal fenómeno de intercambio de energía es la conducción del calor.

Generalmente, y dado que en estos elementos son superficies planas, el principal flujo de calor se produce en el sentido perpendicular al plano (ver la Figura 7), por lo que la ecuación de Fourier se simplifica, pasando del fenómeno tridimensional al unidimensional, lo que se expresa en la ecuación siguiente.

$$\varphi(x, t) = -\lambda \frac{\delta T}{\delta X}(x, t)$$

Aplicando el principio de conservación de la energía en un volumen del sólido, el aumento de energía interna del mismo es igual a la diferencia de flujos que entran y salen. La energía interna del sólido está ligada a su capacidad calorífica ( $c_p$ ), y a su densidad, de tal modo que el aumento de energía interna (o en otras palabras la cantidad de calor almacenado en el sólido) es la diferencia del flujo de calor entrante menos el saliente.

En un volumen infinitesimal, la ecuación de calor unidimensional es:

$$pc_p \frac{\delta T}{\delta t} = \lambda \frac{\delta^2}{\delta x^2}$$

La ecuación anterior tiene solución analítica en muy pocos casos, con lo que usualmente se resuelve por métodos numéricos.

Considerando que se ha alcanzado el estado estacionario (el valor de la temperatura no depende del tiempo), y para valores constantes de la temperatura superficial en ambas caras, el flujo a través de la pared se expresa, tomando la ecuación anterior, como:

$$q = \frac{\lambda}{L}(T(L) - T(0))$$

Al termino  $L/\lambda$  se le llama resistencia térmica y su inversa la  $\lambda/L$  conductividad o conductancia.

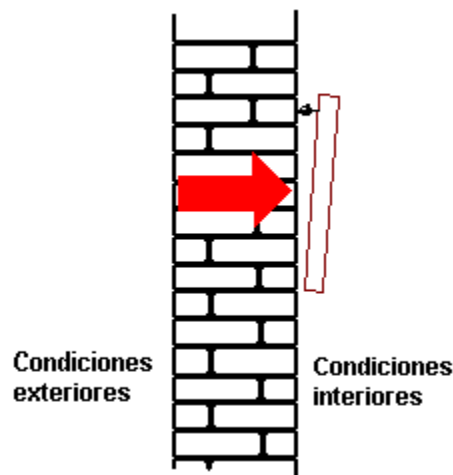
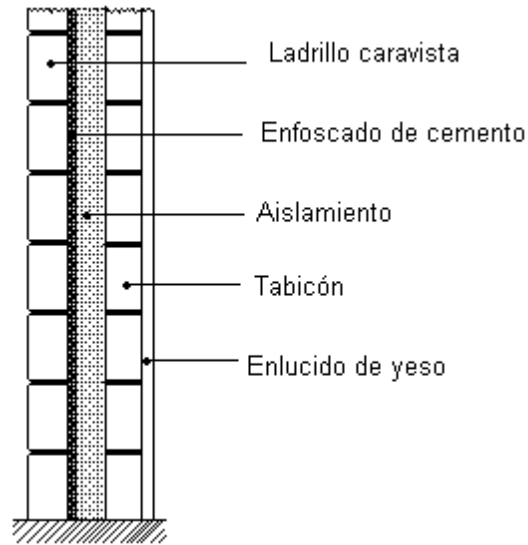


Figura 7 Flujo de calor unidimensional

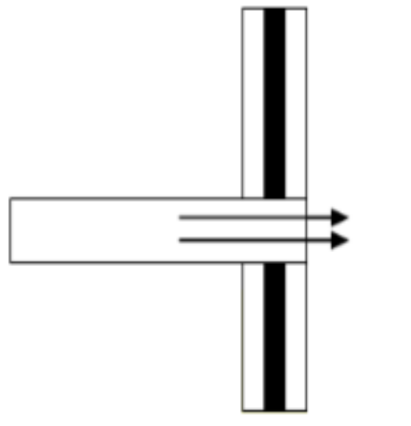
En muros heterogéneos, es decir aquellos que están conformados por más de un tipo de material (ver la Figura 8), la resistencia térmica total es la suma de las resistencias térmicas parciales. Por tanto, para calcular la resistencia térmica de un muro de varias capas se empleará la relación:

$$R_T = \sum R_i = \sum \frac{L_i}{\lambda_i}$$

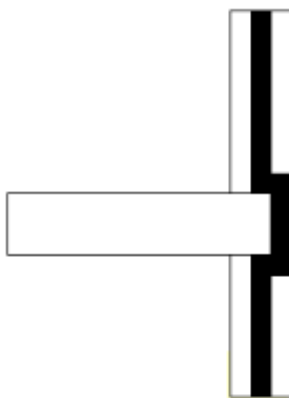


**Figura 8 Composición de un muro multicapa típico de la construcción**

Como se observa, si se introduce un elemento aislante en el muro de varias capas, al ser su conductividad baja (resistencia alta) el valor del cociente aumentará, mientras que para el resto de las capas este cociente será pequeño. Por tanto, en el cómputo global el término dominante será el del material aislante, y este término será mayor cuanto más espesor tenga la capa.



**Figura 9 Puente térmico**



**Figura 10 Puente térmico corregido**

Realmente, la ecuación de la conducción es tridimensional, y considerarla unidimensional puede llevar a errores en la estimación de la cantidad de flujo energético que atraviesa un componente, sobre todo si existen los denominados “puentes térmicos”. Este fenómeno se produce por la intrusión en un componente (una pared exterior, por ejemplo) de un elemento ajeno a la misma (por ejemplo, una viga). Entonces, debido a la diferencia de conductividad de los dos materiales, la energía se transfiere a través del material que menos resistencia térmica ofrece. Es decir, se calentaría, o enfriaría más el material cuya conductividad fuese mayor.

En la Figura 9 se presenta un esquema de lo que se conoce como puente térmico. Para evitarlo debe emplearse una capa de material aislante que aumente la resistencia térmica del conjunto hasta los mismos niveles que el resto de la pared, como se aprecia en la Figura 10. Un problema semejante puede llegar a ocurrir por una colocación defectuosa del material aislante, ya que si se coloca de tal modo que existen zonas con una resistencia térmica diferente, estas zonas tenderán a enfriarse o calentarse de modo diferente en el tiempo que el resto del componente.

La conducción es un mecanismo de transferencia de calor entre partes de un sólido a diferente temperatura. Este fenómeno produce continuas transferencias de calor a través de todos los cerramientos (muros, ventanas, techo y suelo) desde el edificio hacia el exterior en invierno, y desde el exterior al edificio en verano. Un nivel adecuado de aislamiento en los paramentos exteriores (Código Técnico de la Edificación) reduce considerablemente la demanda energética del edificio.

### 2.2.2. La convección entre Sólidos y el Aire

El aire que confina un edificio no está estático, sino que fluye entre las diferentes zonas del edificio o entre el interior y el exterior del mismo. Las fuerzas que producen este movimiento son de dos tipos, puede deberse a la diferencia de temperaturas entre las zonas del edificio o entre el interior y el exterior (presión estática) o la velocidad del aire exterior (presión dinámica). Al movimiento producido por esta causa se le conoce como convección natural.

El movimiento del aire puede deberse a equipos mecánicos (ventiladores) que inducen una sobrepresión en el interior del edificio. A este movimiento se le conoce como convección forzada.

En general, los movimientos de los fluidos están regidos por la ecuación de Navier-Stokes que, aun en los problemas más sencillos, tiene una difícil solución (incluso numérica) y que, además depende de una serie de parámetros cuyos valores son poco fiables o incluso desconocidos.

Por otra parte, dado que el interés que nos mueve es conocer la cantidad de energía transferida por el movimiento del aire entre los sólidos y el aire, nos limitaremos a utilizar relaciones empíricas que han demostrado suficiente aproximación para resolver el problema.

Por ejemplo, para evitar un exceso de pérdidas de energía por convección se protegen los edificios de las corrientes de viento frías del invierno: Presentando superficies pequeñas u opacas a estas orientaciones, enterrando las caras del edificio expuestas al viento, o usando cualquier pantalla (árboles por ejemplo) para evitar una exposición excesiva del edificio.

Usaremos pues una relación similar a la de Fourier, en donde el flujo de calor entre un sólido y el aire viene dado por la ecuación:

$$\varphi = h(T_s - T_a)$$

Donde  $\varphi$  es el flujo de la energía por unidad de área ( $W/m^2$ ),  $h$  es el coeficiente de intercambio convectivo entre un sólido y el aire (en general

cualquier fluido).  $T_s$  es la temperatura del sólido en la superficie en contacto con el aire,  $T_a$  es la temperatura del aire lejos de la pared.

Cuando el estudio se refiere a aspectos de intercambio de calor, sin importar el mecanismo que los ha producido (es decir, interesa más “cuánto” que “cómo”) se usan valores estándar para el coeficiente de convección  $h$ , que usualmente son fruto de relaciones empíricas. Así, por ejemplo, es usual tomar los siguientes valores de  $h$  para las condiciones exteriores:

$$h = 3,04x(v + 6)^{0,605} \text{ a sotavento}$$

$$h = 8xv^{0,605} \text{ si } v > 2 \text{ m/s}$$

$$h = 12,24 \text{ si } v < 2 \text{ m/s}$$

Para condiciones interiores de suele tomar constante con valor de  $4W/m^2C$ .

La resistencia térmica efectiva del muro se dará a través de la ecuación:

$$R_T = \sum \frac{L_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i} + \frac{1}{h_e}$$

Donde  $\lambda_i$  y  $h_e$  son respectivamente los coeficientes de convección de la cara interna y de la cara externa. Con este sencillo cálculo, repetido para todos los paramentos del edificio se puede obtener la cantidad de energía que el edificio perderá (o ganará en el caso de verano) por un efecto combinado de la conducción y la convección.

La convección es un mecanismo complementario de la conducción, el trasiego de calor desde el edificio hasta el exterior se completa con la convección. Para evitar pérdidas excesivas por este fenómeno deben protegerse los paramentos exteriores de las corrientes de viento frías.

### 2.2.3. Intercambio Radiante

Así como los fenómenos anteriores requieren de un medio físico para la transferencia energética, en el caso de la radiación cualquier cuerpo en cualquier situación emite energía que depende exclusivamente de su temperatura, superficie y propiedades ópticas. A esta energía se la conoce por excitancia radiante o emitancia  $M$ .

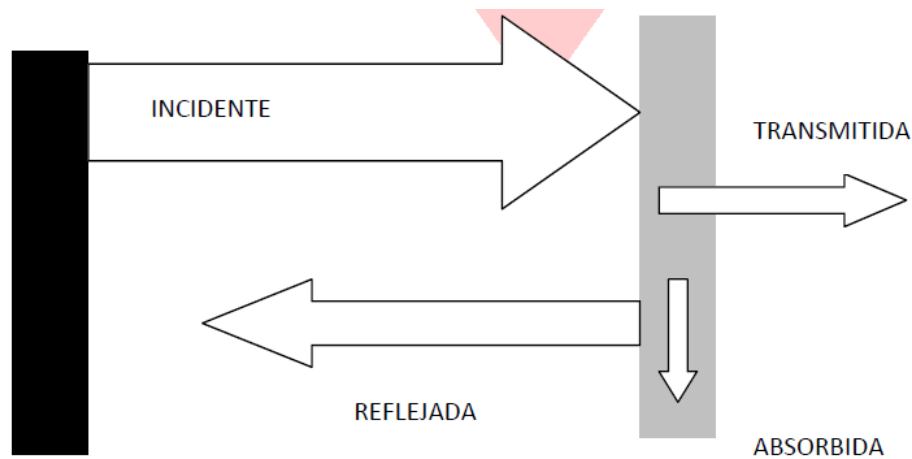


Figura 11 Esquema de los diferentes procesos de transferencia de la energía radiante

La cantidad de energía por unidad de área que emiten viene determinada por la ley de Stefan-Boltzman, según la cual:

$$M = \sigma \epsilon T^4$$

Donde  $\sigma$  es una constante y  $\epsilon$  es la emisividad, que depende del material del emisor y de la longitud de onda de la radiación.

Dado que los cuerpos no se presentan aislados en el espacio, entre ellos se intercambia energía radiante que no sólo depende de la temperatura y emisividad, sino que, además existen otras dos propiedades ópticas que determinan la cantidad de energía radiante que un cuerpo recibe de otro. Estas son:

- La absorptividad ( $\alpha$ ), que es la fracción de energía que el cuerpo absorbe.
- La transmisividad ( $\tau$ ), que es la fracción de energía que atraviesa el cuerpo.
- La reflectividad ( $\rho$ ), que es la fracción de energía reflejada por el cuerpo.

Estas tres propiedades ópticas están relacionadas entre sí, de tal modo que para un cuerpo dado se cumple que:

$$\alpha + \tau + \rho = 1$$

Si suponemos dos cuerpos aislados, la cantidad de energía que intercambian entre ellos depende de la disposición espacial de los mismos y de su forma geométrica, ya que toda la energía radiante emitida por un cuerpo no es



interceptada por el otro. A la cantidad de energía interceptada por el cuerpo B que emite el cuerpo A se le denomina factor de forma de B con respecto a y se le representa por  $F_{BA}$ , y que, por relaciones sencillas, se puede deducir que únicamente depende de la configuración geométrica de ambos cuerpos. Es obvio que el valor máximo de  $F_{BA}$  es 1, ya que no puede interceptarse más energía que la que se ha emitido.

Por ejemplo, la fachada de un edificio expuesta a la radiación solar experimenta un aumento considerable de temperatura por la absorción de energía. Este aumento de temperatura aumenta la conducción hacia el interior del edificio. Si la fachada no tiene un aislamiento adecuado aumentará considerablemente la temperatura interior. Este efecto será beneficioso en invierno, pero en verano la superficie interior a temperatura elevada produce, tanto por convección como por radiación un aumento de la temperatura interior que podría resultar desagradable.

Si tenemos varias superficies radiantes, éstas intercambian energía radiante entre sí a través de los diferentes mecanismos; es decir, una superficie recibe energía que absorbe, transmite y refleja, a la vez que está emitiendo energía. El balance total sobre esta superficie debe completarse con los fenómenos de conducción y convección para llegar a predecir su evolución térmica.

La principal contribución del flujo radiante en un edificio es el que se establece entre el edificio y el sol. Las ganancias solares se consiguen fundamentalmente a través de las superficies vidriadas. El vidrio no absorbe apenas radiación de onda corta (radiación solar), por lo que permite su paso hacia el interior del edificio, calentando las superficies interiores, sobre todo el suelo.

En capítulos posteriores se explicarán técnicas para optimizar el aprovechamiento de la radiación solar, así como para evitarla en condiciones de verano.

El intercambio de calor por radiación se establece entre superficies separadas a distinta temperatura. La generación de superficies calientes en invierno o frías en verano es un buen método para proporcionar condiciones de confort en los edificios. El principal intercambio de energía radiante se produce entre el edificio y el sol.

### 2.2.4. Intercambio Latente y sensible

Cuando dos masas de aire de diferente procedencia se mezclan, se produce un intercambio de energía debido a dos causas:

1. La diferencia de temperatura
2. La diferencia de humedad

La temperatura y humedad resultantes dependerán de la cantidad de materia de cada una de las masas de aire, y del estado higrotérmico de las mismas.

Al intercambio de energía debido a la diferencia de temperaturas se le conoce como latente, y a la diferencia de humedad como sensible.

En un edificio, existe un intercambio continuo de aire entre el exterior y el interior, fundamentalmente a través de las rendijas de la carpintería, cuando el intercambio no es voluntario, o a través de la ventilación, bien mecánica bien natural cuando el intercambio es voluntario e incluso controlado.

La cantidad de energía que interviene en el trasiego de aire depende de:

1. El volumen de aire intercambiado
2. La diferencia de temperatura y humedad que existe entre los dos ambientes (exterior e interior).

El flujo de energía viene dado por la relación:

$$q = V\rho C_p(T_{int} - T_{ext})$$

Siendo  $V\rho$  el volumen de aire intercambiado,  $\rho$  su densidad y  $C_p$  su calor específico.

Dado que el aire tiene una densidad muy baja (alrededor de  $1,2 \text{ Kg/m}^3$ , dependiendo de la temperatura) y un calor específico también bajo ( $1,28 \text{ J/kg}^\circ\text{C}$ ), para que los flujos de energía sean considerables debe intercambiarse un volumen muy elevado. En cambio, como se verá en el próximo capítulo, produce efectos muy perjudiciales en invierno y muy beneficiosos en verano para alcanzar el estado de confort térmico. Tales efectos son debidos no a la cantidad de energía intercambiada entre el edificio y el exterior, sino al intercambio entre el cuerpo humano y su entorno inmediato, que es muy sensible a la velocidad del aire.

Por otro lado, el flujo continuo de una masa de aire desde el exterior hacia el interior del edificio es una fuente de pérdidas muy importante, tanto más cuanto mayor sea el volumen de aire intercambiado. Así pues, es fundamental el uso de buenas carpinterías para evitar las infiltraciones. Durante el verano las consecuencias de las infiltraciones no son tan importantes como en invierno.

El intercambio sensible se produce cuando una masa de aire seco se humidifica y hace que aumente su humedad relativa.

El proceso de humidificación del aire consiste en la evaporación de agua para que cambie a la fase de vapor. Para que se produzca la evaporación es necesario transferir una gran cantidad de energía al agua (570 calorías por gramo).

Esta energía se extrae del aire que recibe el agua, de tal modo que se enfría.

Este fenómeno se pone de manifiesto en los patios andaluces, que suelen tener estanques o fuentes para humidificar el aire seco de la región de modo que baja su temperatura. Este efecto combinado con la protección solar que proporciona el propio patio consigue reducciones muy importantes de la temperatura del aire en climas secos y calurosos.

Es evidente que en climas húmedos este fenómeno es muy poco eficiente debido a la baja capacidad del aire ambiente para evaporar el agua (el aire ambiente está ya saturado de vapor de agua).

Por otro lado, este tipo de técnica para refrigerar el aire debe tratarse con sumo cuidado, pues las condiciones de confort térmico tienen una dependencia importante con la humedad (para conseguir las condiciones de confort en un ambiente húmedo, la temperatura del aire debe ser más baja que en uno seco), por ello este tipo de técnica no debe humidificar el aire más allá del 60-70% de humedad relativa, lo que limita el uso de esta técnica a climas muy secos.

En climas secos, durante el verano, el potencial de enfriamiento por técnicas de humectación del aire seco puede alcanzar grandes rendimientos. En su contra estas técnicas tienen el inconveniente que requieren de elevadas cantidades de agua para su funcionamiento, y el agua es un bien escaso y que en consecuencia debe preservarse de forma especial.

También es necesario indicar que debe tenerse un control sobre la humedad, ya que el aire a una humedad relativa alta produce situaciones de discomfort.

Más adelante se estudiará el enfriamiento del aire por humectación, y se analizará el rendimiento de esta técnica en diferentes condiciones.

Los intercambios de aire con el exterior son un importante foco de pérdidas energéticas en invierno. La humidificación de aire en climas secos es una fuente de refrigeración del ambiente interior de los edificios.

## 2.3. La calidad energética del edificio

### 2.3.1. Introducción

En esta unidad de contenido daremos las ideas fundamentales del diseño de edificios eficientes desde el punto de vista energético, dejando para el capítulo siguiente el desarrollo de técnicas especiales de calefacción y refrigeración.

Una norma fundamental para conseguir un edificio de gran eficiencia energética es que posea una buena calidad de construcción. Esto, que parece elemental, suele ser lo que más falla. La calidad del acabado es más importante que la calidad de los materiales. Un buen diseño puede verse seriamente afectado en su rendimiento debido a una deficiente ejecución, lo mismo que un diseño no tan bueno puede presentar resultados adecuados debido a un buen acabado.

Por tanto, supondremos como hipótesis de partida que el edificio tendrá una calidad de acabado correcta.

### 2.3.2. Orientación de los Huecos Vidriados

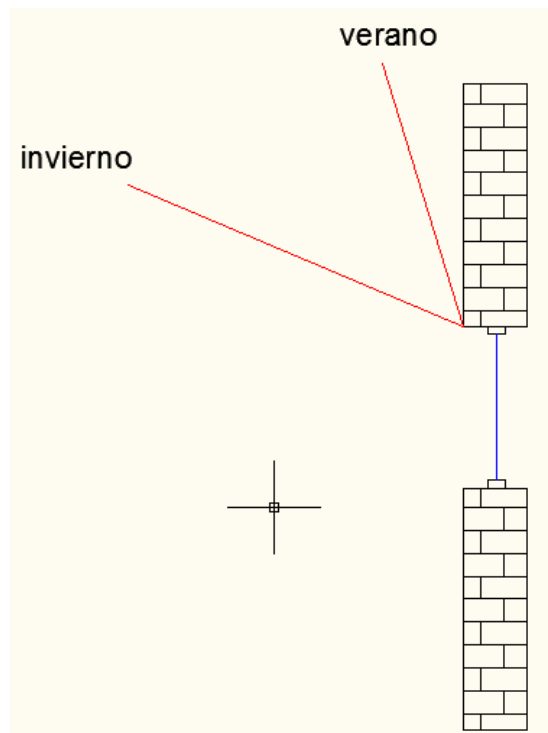
Al igual que en el caso de la estructura urbana y de los bloques, las fachadas principales de los edificios deben estar orientadas al sur, de tal modo que presenten mayores superficies vidriadas en esta orientación que en el resto. De este modo aseguramos una alta incidencia solar en invierno, y un fácil sombreado en verano.

La inclusión de voladizos o toldos es muy efectiva para conseguir confort térmico en los edificios. El efecto térmico en las condiciones interiores, o de

reducción de la demanda, debido al empleo de elementos de sombra es muy importante.

La ventaja del toldo sobre el voladizo es que el primero es móvil, con lo cual se puede optimizar su uso y eliminar así la sombra durante el invierno. El voladizo es fijo, por lo que presentará un mal comportamiento en invierno, o no protegerá durante todas las horas del día durante el verano.

La siguiente figura muestra la incidencia al mediodía solar en una fachada sur durante el invierno y el verano.



**Figura 12 Incidencia solar en fachado sur durante los solsticios de invierno y verano al mediodía solar**

Por otra parte, las fachadas orientadas al norte nunca reciben radiación solar (salvo de una manera muy tangencial durante unos pocos días de verano, al amanecer y atardecer). Por ello deben ser muy opacas, disponiendo pequeñas aberturas para producir ventilación cruzada durante el verano, así como iluminación durante todo el año.

Las orientaciones este y oeste son muy conflictivas durante el verano, sobre todo la orientación oeste, pues a partir del mediodía solar recibe una gran cantidad de radiación, muy difícil de controlar, ya que incide de forma perpendicular sobre

la superficie vidriada. Además, durante las horas de la tarde, en verano, la temperatura ambiente ya ha subido de forma considerable, por lo que las condiciones exteriores son más desfavorables. En esta orientación los huecos vidriados deben estar protegidos de la insolación durante el verano. Ahora bien por la características geométricas de la incidencia solar las protecciones horizontales (voladizos, pérgolas vegetales, etc.) son poco efectivas, siendo preferibles las protecciones verticales, tales como lamas, árboles o similares.

Por otro lado, la orientación sur presenta una gran captación solar, sobre todo en el invierno, puesto que en esta fachada el sol está incidiendo continuamente. Por tanto los huecos vidriados deben estar orientados en esta dirección.

Para obtener la dimensión óptima de los huecos deben ponderarse las ganancias frente a las pérdidas, aunque la captación solar es elevada, también lo son las pérdidas debido a que el vidrio es un buen conductor de calor y a la presencia de las carpinterías de los vidrios que producen infiltraciones. Estas pérdidas se reducen de forma muy considerable usando:

1. Vidrio doble: La cámara de aire entre vidrios aísla térmicamente.
2. Aislamientos móviles como son contraventanas exteriores que, usándolas durante la noche, reducen considerablemente las pérdidas térmicas.
3. Recubrimientos especiales para el vidrio que permitan generar superficies calientes hacia el interior del espacio habitado: Vidrios absorbentes y bajo emisivos.

Deben tenerse en cuenta varios aspectos simultáneamente para determinar el tamaño óptimo de la ventana y conseguir la máxima reducción de la demanda:

1. La superficie vidriada orientada al sur capta la radiación solar directa de una manera muy eficiente en invierno.
2. El vidrio tiene una conductividad elevada, y es un foco de pérdidas térmicas; por tanto, deben ponderarse las ganancias solares con las pérdidas térmicas. La inclusión de aislamientos móviles (contraventanas, persianas con aislamiento interior) es un sistema muy eficaz para paliar estas pérdidas durante la noche.

3. El sombreado es fundamental para las condiciones de verano, por lo que cualquier ventana en orientación distinta a la norte debería acompañarse con un sistema adecuado de sombreado.

### 2.3.3. Hermeticidad y Aislamiento

Haciendo referencia a la calidad de la construcción que se mencionaba al principio, una primera norma conservativa y que tiene gran influencia sobre la demanda del edificio es tener unas bajas infiltraciones de aire.

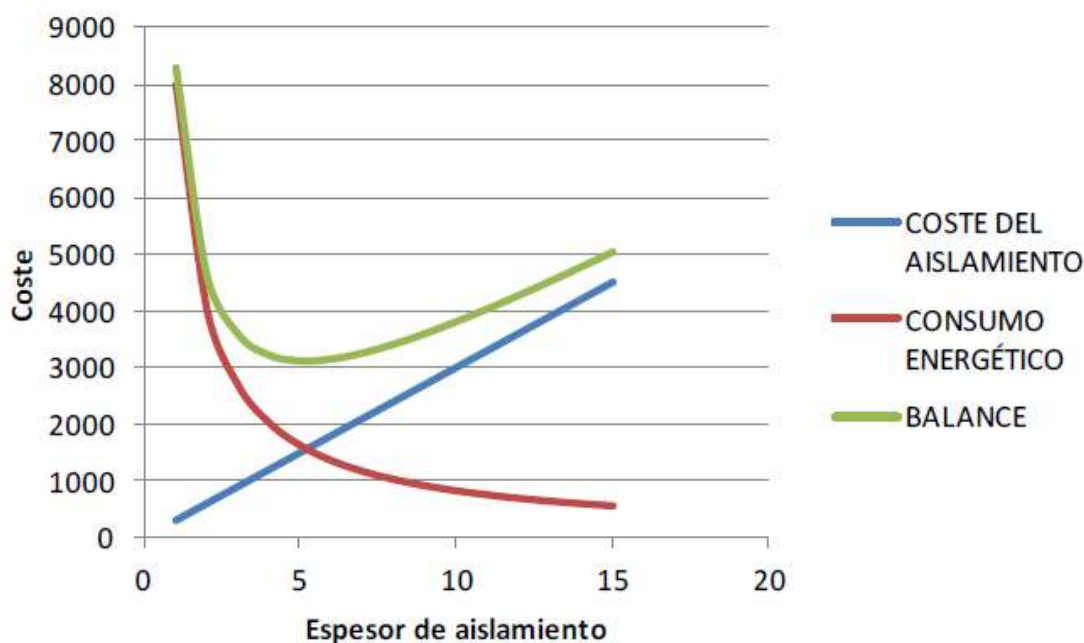


Figura 13 Variación de la demanda en función del espesor de aislamiento

La principal causa de infiltraciones de aire es la calidad de la carpintería. Atendiendo al CTE, la calidad de la carpintería se establece en tres niveles correspondiendo a la cantidad de infiltración que se produce.

Dependiendo del edificio, y del número de puertas y ventanas que tiene estas categorías corresponden a infiltraciones de 1,5, 1,0 y 0,5 renovaciones de aire cada hora (ACH = Air Changes per Hour).

Es evidente que la influencia de las infiltraciones aumenta a medida que el clima es más frío. A su vez, en verano las infiltraciones tienen muy poca importancia, dado que la situación usual es que en esta época la temperatura del

aire exterior esté durante unas horas por encima de la interior y durante el resto por debajo, con lo cual el efecto de las infiltraciones se ve compensado.

Para evitar pérdidas energéticas por conducción durante la época de invierno, la normativa española obliga a que los edificios dispongan de un cierto nivel de aislamiento, dependiendo de la zona climática en que esté construido.

El efecto de la inclusión de materiales aislantes en los cerramientos exteriores del edificio (muros, techo y suelo) tiene una repercusión importante en la demanda energética del mismo.

Obviamente el valor de la conductividad térmica del material aislante será fundamental para determinar el espesor óptimo que se ha de colocar en los cerramientos. Lo mismo puede decirse de la climatología, pues para climas más fríos la repercusión del aislamiento sobre la demanda es mayor.

A tenor de la Figura 13, la tendencia de la demanda es asintótica, de tal modo que a partir del punto de inflexión, para conseguir pequeños ahorros en la demanda, es necesario aumentar considerablemente el espesor de material aislante.

El uso de herramientas de cálculo adecuadas permite optimizar el espesor de la capa de aislante, teniendo en consideración el ahorro de energía junto con el desembolso económico que supone el incremento del aislamiento.

En la misma figura se obtiene el espesor económico óptimo de aislamiento, en el que se compara el coste de inversión con el coste de la cantidad de energía consumida. El mínimo señala el punto óptimo.

Es evidente que este punto óptimo variará en función de ambos costes. Lo que parece evidente es que el coste de la energía aumenta de forma más rápida que el de los materiales de la construcción en general, por lo que en la evolución temporal el espesor del aislamiento óptimo irá aumentando.

El adecuado aislamiento de los paramentos exteriores no es exclusivamente beneficioso para las condiciones de invierno, como podría deducirse de lo anterior: también para verano es apropiado. Esto es así porque la insolación elevada hace que se caliente la cara exterior de los cerramientos, lo que produce un aumento de la conducción hacia el interior. Si el muro es muy conductivo (no tiene material



aislante) transmitirá gran cantidad de energía hacia el interior, que tendrá como efecto el calentamiento de la cara interior del cerramiento que producirá situaciones fuera de los rangos de confort.

El problema en verano es mucho más acusado en el techo, ya que, debido a los elevados ángulos de la altura solar (véase la Figura 12), la incidencia sobre este cerramiento es mucho mayor que sobre los cerramientos verticales. Por tanto, será necesario aislar adecuadamente el techo. Así como evitar incluir elementos de ganancia solar (lucernario, claraboya, etc.) que no estén adecuadamente sombreados durante el verano.

La calidad de la carpintería es muy importante. Conseguir un bajo nivel de infiltraciones supone un ahorro energético muy importante.

Existe una normativa de obligado cumplimiento para las condiciones de aislamiento térmico en edificios (CTE-DB-HE). Esta normativa favorece a los climas fríos, ya que es exclusivamente conservativa. En los climas cálidos el aislamiento, sobre todo de los techos, es altamente beneficioso para conseguir condiciones de confort sin usar elementos auxiliares.

#### 2.3.4. La Ventilación Natural

Las pérdidas por convección entre el cuerpo y el ambiente que lo envuelve es función de la velocidad de viento, a través del coeficiente de convección,  $h_c$  como se refleja en la relación siguiente:

$$H_c = A_n F_{cl} h_c (\Theta_{cl} - \Theta_a)$$

Siendo  $\Theta_{cl}$  la temperatura superficial de la ropa y  $\Theta_a$  la temperatura ambiente que rodea a la persona.

El parámetro  $h_c$  es el coeficiente de convección, que depende de la velocidad del viento. Cuando esta es mayor de 0.1 m/s, mediante las siguientes relaciones:

$$h_c = 2,38(\Theta_{cl} - \Theta_a) \text{ para } v < 0,1$$

$$h_c = 12,1 \text{ para } v > 0,1$$

Esta relación nos indica que el flujo de calor irá del cuerpo hacia el ambiente siempre que la diferencia  $(\Theta_{cl} - \Theta_a)$  sea positiva, es decir, siempre que la

temperatura superficial exterior de la ropa sea mayor que la del ambiente. Cuando se supere este punto crítico el flujo se invertirá y lo que antes eran pérdidas de energía se convertirán en ganancias, siendo por tanto la situación más inconfortable.

En consecuencia tenemos un amplio rango de temperaturas en que podemos realizar intercambios de aire con el exterior aun cuando la temperatura sea elevada. Pero hemos de tener en cuenta que el parámetro que nos permitirá entrar en las condiciones de confort es la velocidad de viento, no la temperatura. Cualquier técnica de ventilación, con la temperatura exterior por encima de la temperatura interior será efectiva exclusivamente si provoca un aumento de la velocidad de viento en la zona de ocupación. De no ser así, la ventilación en estas condiciones térmicas, será perjudicial.

Para comprobar este hecho en las tres gráficas siguientes vemos como varía la temperatura de confort para diferentes velocidades de viento (0,5, 1 y 2 m/s) en todo el rango de humedad relativa (de 10 a 100%). Manteniendo constantes el resto de los parámetros ambientales y de disposición del individuo.

Como se aprecia a medida que aumenta la velocidad de viento la temperatura de confort aumenta, debido a que aumenta el intercambio convectivo entre el cuerpo y el ambiente. Mientras que para 0,5 m/s de velocidad del aire el rango de temperaturas de confort se sitúa de los 21 a los 25°C, cuando aumentamos esta velocidad a 2 m/s la temperatura de confort se sitúa entre los 25 a los 28°C. Es decir aumentamos la tolerancia a las temperaturas elevadas en 4°C. Ello permite importante ahorros de energía.

Ahora bien hemos de tener en cuenta que las corrientes de aire puede ser un elemento que introduzca otros problemas que, en función de la actividad que se desarrolle en el local, sean perjudiciales (vuelan los papeles, por ejemplo).

Entonces será conveniente reducir las superficies de exposición a las corrientes frías durante el invierno: las infiltraciones aumentan considerablemente con la presión dinámica del viento sobre los cerramientos. Las soluciones de diseño a este problema dependen de las características propias de cada caso; ahora bien, existen algunas que han sido ampliamente utilizadas:

1. Enterrar parcial o totalmente la superficie de exposición, siempre que la pendiente del terreno lo permita.
2. Colocar la mínima cantidad de aberturas (puertas y/o ventanas) en la fachada expuesta.
3. Proporcionar al edificio una forma “aerodinámica”, de tal modo que presente áreas pequeñas a las corrientes predominantes de viento.

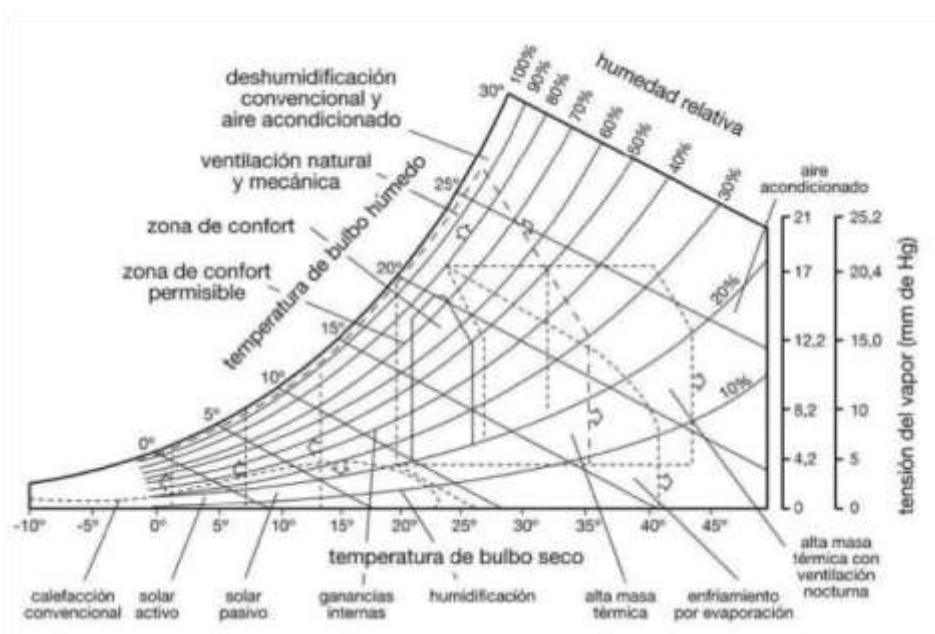


Figura 14 Grafica temperaturas

A pesar de que es contraproducente exponer al edificio a corrientes de aire frías durante el invierno, es beneficioso exponerlo a las corrientes frescas durante el verano. Esta solución es muy adecuada y muy utilizada en las costas a fin de aprovechar las brisas marinas.

Afortunadamente en la mayoría de las ocasiones, las corrientes frías del invierno no coinciden con las frescas del verano, por lo que es posible adoptar soluciones compatibles para ambos casos. Si fueran incompatibles habría que evaluar daños y perjuicios y obrar en consecuencia.

Los efectos de la ventilación son muy importantes durante el verano; de hecho existe una franja climática a lo largo del año en que no es necesaria ni la calefacción ni la refrigeración siempre que se gestionen adecuadamente los regímenes de ventilación. Asimismo a largo del día, aun en el más tórrido verano, existen franjas horarias en que la ventilación es suficiente para procurar el estado de confort térmico.

Hablaremos de cuatro técnicas diferentes de ventilación natural, cuyos principios de funcionamiento vienen esquematizados en la Figura 15: Ventilación simple, ventilación cruzada, efecto chimenea, ventilación nocturna.

Es evidente que la ventilación nocturna emplea las mismas técnicas que las tres precedentes, salvo que ésta se efectúa durante la noche para aprovechar el salto térmico entre el interior y el exterior. Esta técnica se emplea más que para proporcionar confort para refrigerar la estructura del edificio con el fin estar en condiciones de almacenar la energía solar recibida durante el día sin aumentar la temperatura del aire y las paredes.

Estas técnicas serán más eficientes cuando el diseño del edificio sea adecuado para favorecer sus efectos.

La ventilación simple se produce cuando existe una sola abertura (o varias pero en la misma orientación). Es muy poco efectiva, salvo que la dirección del viento sea perpendicular al plano de la abertura. El gradiente de velocidades que se genera en el hueco es de tal perfil que existe un punto neutro que, en el caso de velocidad de aire nula, estará en el centro del hueco. (Esta situación se ve reflejada en la figura)

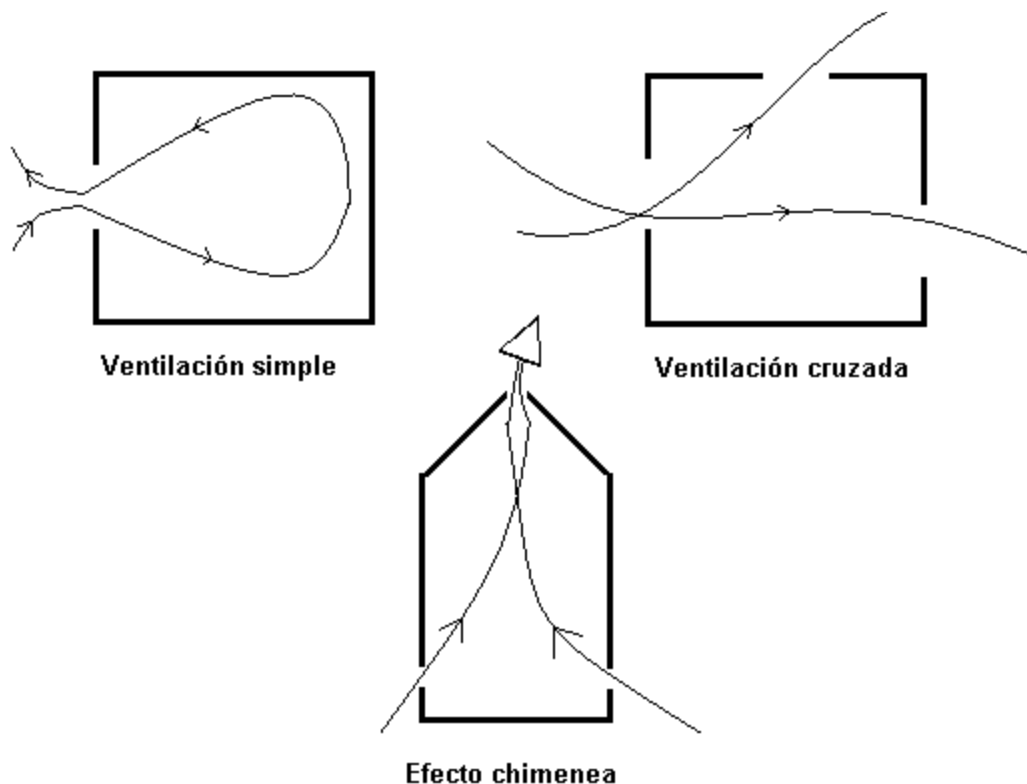


Figura 15 Esquemas de funcionamiento de las diferentes técnicas de ventilación

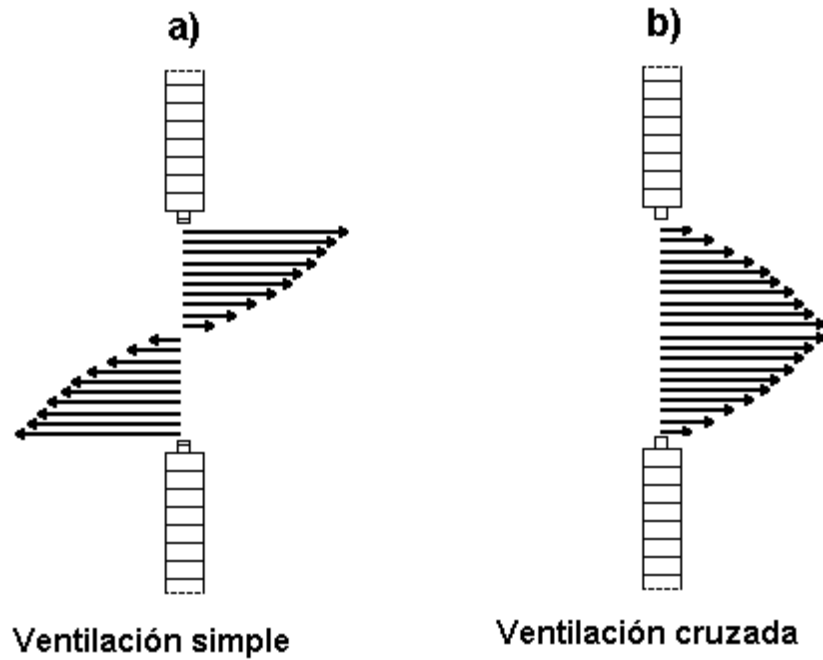


Figura 16 Perfil de velocidades en una ventana con ventilación simple y cruzada

La ventilación cruzada se produce cuando dos o más aberturas están situadas en planos diferentes. Es muy efectiva, produce muchas renovaciones de aire, y no depende tanto de la incidencia del viento como la simple para tener efectos considerables. Únicamente sería poco efectiva en el caso de que las aberturas fuesen paralelas (es decir estuviesen en fachadas opuestas y coincidiendo las aberturas el mismo eje), y la dirección de viento fuese paralela a los planos de la fachada. En este caso se produce lo que se llama un “cortocircuito” ya que las renovaciones de aire no se producen en todo el espacio de la sala, quedando zonas en donde no se producirían apenas renovaciones.

El efecto chimenea es muy efectivo cuando se acompaña de una solución de atrio en un patio interior. La estratificación de la temperatura del aire hace que se produzca una succión desde la parte superior del atrio, de tal modo que provoca una corriente de aire cruzada en el interior del edificio.

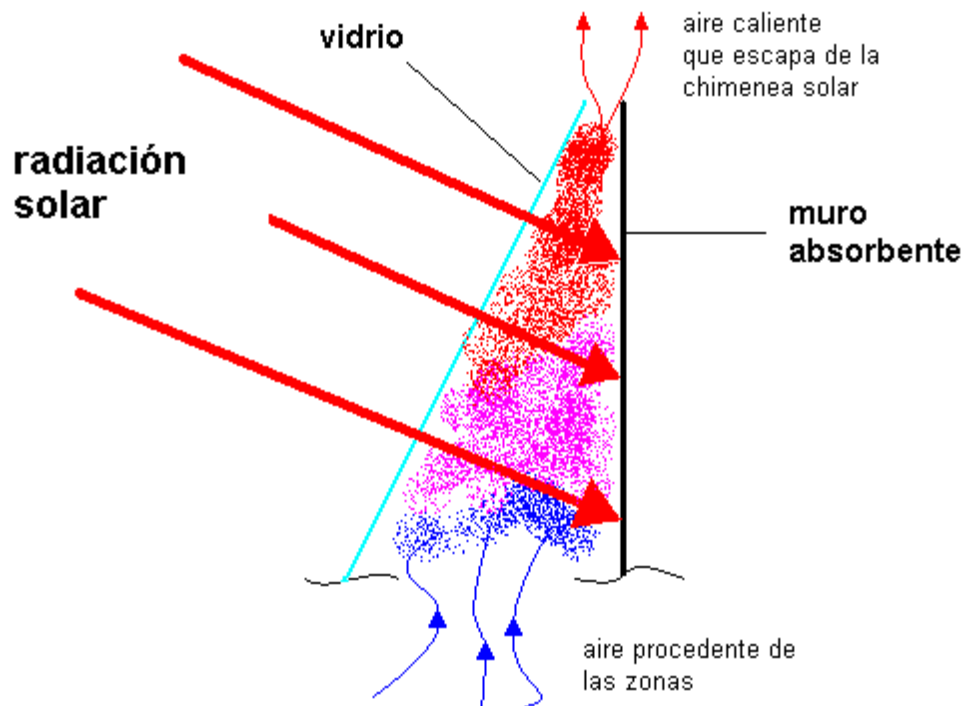


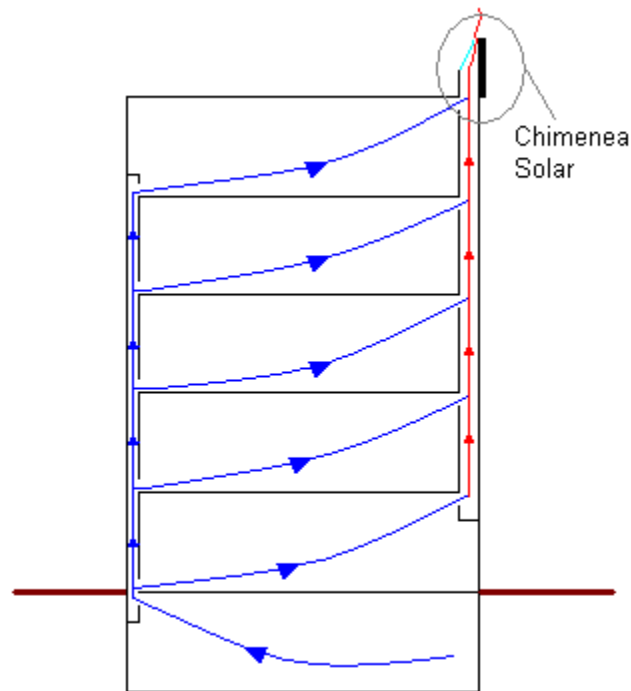
Figura 17 Esquema de funcionamiento de la chimenea solar

En caso de que no exista este espacio por características propias del diseño del edificio se puede diseñar una “chimenea solar”. Consiste, en esencia en un espacio donde se provoca una gran captación de energía solar produciendo un calentamiento del aire confinado en este volumen. La chimenea tiene una apertura superior por la que el aire caliente al tener menor densidad escapa, produciendo una succión que provoca el intercambio de aire en el interior de las zonas a refrigerar.

La efectividad de la técnica viene condicionada por la diferencia de temperaturas entre el aire confinado en la chimenea solar y el aire exterior. En la figura 6 se aprecia un detalle de este tipo de diseño. Este tipo de diseños requiere de dos condicionantes para que realmente sea efectivo:

1. Que la diferencia de temperatura entre el aire exterior y el aire confinado en la chimenea sea lo suficientemente grande para provocar un tiro adecuado. Cuanto menor sea esta diferencia menos renovaciones de aire se producirán.
2. El aire entrante en los locales a refrigerar tenga una temperatura adecuada para que se produzca la refrigeración. En este sentido es

conveniente tomar el aire de zonas frescas (sótanos por ejemplo), ya que el aire procedente del exterior tendrá durante muchas horas al día una temperatura superior a la de confort.



**Figura 18** Diseño de una chimenea solar tomando el aire fresco de un sótano

Es evidente que el diseño no es tan sencillo como se esquematiza en la figura 17, ya que debe tenerse gran cuidado en el diseño de todo el circuito hidráulico, ya que de no ser así pueden darse diferentes pérdidas de carga entre cada local y la chimenea solar, lo cual producirá diferentes caudales para cada local perdiendo eficacia la técnica.

Una solución fácil, pero más cara, es independizar cada circuito, lo cual nos obligaría a invertir mucho más en conducciones.

Otra solución evidente es poner una impulsión mecánica (ventiladores) desde el sótano, pero en este caso evidentemente no hace falta la chimenea solar.

Este sistema es especialmente adecuado para ventilar zonas interiores de edificios en donde no existe la posibilidad de ventilación ni simple ni cruzada.

La resolución de la ecuación de Navier-Stokes para los movimientos de aire es difícil de resolver tanto de forma analítica (imposible en la mayor parte de las situaciones reales) y también numérica. Dado que el problema planteado pasa por

la resolución de la mencionada ecuación, en este caso no es posible presentar gráficos de la influencia de la protección de las corrientes de viento sobre la demanda del edificio que tengan la misma fiabilidad que los expuestos anteriormente. Se actúa, pues, de forma instintiva para evaluar los diseños.

### 2.3.5. La Inercia Térmica

El edificio está compuesto de distintos materiales, los cuales tiene una capacidad de almacenamiento de la energía que se traduce en un aumento de su temperatura. A esta capacidad, que depende de las propiedades térmicas de los materiales de construcción (densidad y calor específico) de que esté conformado se la conoce como inercia térmica.

Si los materiales son de una alta densidad y de alto calor específico la inercia térmica será elevada, lo que significa que hará falta un alto aporte energético para aumentar su temperatura. Si, por el contrario, los materiales son ligeros y de bajo calor específico, con pequeños aportes de energía aumentará su temperatura.

Dependiendo del balance de energía entre el edificio y su entorno inmediato existirá un flujo de energía desde el edificio hacia el ambiente o viceversa. En invierno, la situación más frecuente es que el flujo de energía vaya desde el edificio hacia los alrededores. Entonces es necesario aportar energía (calefacción) para mantener la temperatura de confort. Por el contrario, en verano el flujo es desde los alrededores hacia el edificio, entonces es necesario eliminar energía (refrigeración).

En función de las características térmicas (densidad y capacidad calorífica) de los materiales empleados en la construcción de las partes pesadas del edificio (muros, forjados, etc.) la onda térmica exterior (variación de la temperatura en la cara exterior del muro a lo largo del tiempo) sufre dos fenómenos al pasar por el filtro que supone el muro: La amortiguación de la onda y el desfase temporal. En consecuencia en la cara interior del muro se reducen los máximos y los mínimos y además el máximo interior y exterior no coinciden en el tiempo.

Trabajando con el concepto de inercia térmica una primera conclusión elemental es que es beneficiosa en verano, puesto que para alcanzar temperaturas elevadas necesita de grandes aportes energéticos (es el efecto de frescor que se



tiene en ambientes como el de una cueva o una catedral). Si estos aportes no suceden, nunca se llegará a temperaturas elevadas.

Para obtener un efecto adecuado de la inercia térmica, hay que eliminar la energía almacenada en la estructura del edificio. Mediante ventilación nocturna se obtienen resultados muy efectivos.

En cambio, para el invierno, un edificio con una elevada inercia térmica necesitaría aumentar los aportes energéticos para alcanzar la temperatura deseada (habría que aumentar el consumo en calefacción). Por ello resulta más interesante aumentar el nivel de aislamiento que el de inercia térmica. Esto es así, pero también es cierto que el edificio con baja inercia térmica se enfría antes cuando cesan los aportes energéticos. Por tanto hay que llegar a una optimización del diseño de los muros, pues si en invierno se procuran aportes energéticos solares (a través de una buena orientación de las ventanas u otras sistemas de ganancia solar), se coloca el aislamiento dejando la parte pesada del muro por el interior del edificio, la energía solar captada y almacenada se emitirá hacia el edificio (las pérdidas por conducción hacia el exterior serán escasas debido al aislamiento) en las horas en que no haya aportes solares, manteniéndose la temperatura de confort durante más tiempo.

### 2.3.6. La distribución de espacios interiores

La primera premisa para diseñar un edificio con alta eficiencia energética es que esté orientado al sur. Pero para ello debe existir una fachada norte, que será más fría y estará en peores condiciones térmicas, en verano, sin embargo será más fresca.

Por tanto, dependiendo del clima, estas zonas más frías deben reservarse para espacios de escaso uso (servicios, almacén, trasteros, etc.), a lugares donde, por la actividad a que se va a destinar, se requieran unas condiciones de confort más frías (gimnasios, talleres, etc.), o bien donde por el tipo de elementos que contienen vayan a recibir aportes energéticos elevados (cocinas, servidores, etc.).

El último complemento al diseño del edificio es, pues, la distribución del espacio interior en función de las necesidades de confort que exija cada lugar.

Estos espacios no tienen repercusión sobre la demanda de energía de la vivienda porque no están acondicionados, ni tienen porqué estarlo.

La distribución de los espacios interiores es muy importante para conseguir ahorro energético. Aquellos espacios que presenten peores condiciones térmicas deberán tener un escaso uso (almacenes, trasteros, etc.), mientras que los espacios de uso habitual (despachos, salas de estar, etc.) deberán estar ubicados en las zonas mejor acondicionadas.

### 2.3.7. El equipamiento

Como se definió anteriormente, el consumo de un edificio viene determinado por su demanda y la eficiencia del equipo que la suministra, por tanto deben usarse equipos de alta eficiencia energética y que, además, consuman una energía primaria poco (o nada) contaminante.

En este sentido se puede hablar de calderas de condensación, calderas de baja temperatura, bombas de calor, etc., cuyas eficiencias energéticas son muy elevadas.

Pero el más importante para el ahorro de energía radica, además de en la eficiencia del sistema, en el control del equipo.

Este control puede ser desde simplemente termostático para una vivienda, hasta un control inteligente para edificios grandes de oficinas que presentan diferentes ocupaciones y necesidades de dependiendo del espacio que se trate.

La diferencia de consumo energético entre un edificio con un control, aunque sea simplemente de un termostato ambiente, y el mismo edificio sin ningún tipo de control es muy elevada.

Debemos, entonces, hablar de sistemas de control inteligentes que discriminen situaciones, que tengan en consideración las condiciones meteorológicas, que prevean situaciones futuras y que actúen sobre mecanismos capaces de activar o desactivar los sistemas de acondicionamiento térmico para optimizar los consumos.

Por otra parte, para suministrar las necesidades de energía eléctrica (iluminación y aplicaciones) así como las de agua caliente sanitaria, las energías

renovables térmica y fotovoltaica son unas candidatas perfectas, ya que cumplen los requisitos necesarios de potencia y difusión para emplearse de forma muy eficaz en el uso en edificios.

La radiación solar que intercepta la Tierra es lo suficientemente elevada como para suplir las necesidades energéticas globales del planeta varias decenas de miles de veces.

Por otra parte, se presenta difundida en todos los puntos del globo, lo que significa que la potencia por unidad de área no es grande.

Los edificios, al igual que la radiación solar, también están distribuidos en el espacio (si bien las ciudades presentan aglomeraciones considerables), y también requieren poca potencia por unidad de área.

Por tanto, para que los edificios tengan un impacto ambiental mínimo es necesario reducir la demanda pero, a su vez, hay que usar equipos de alta eficiencia para disminuir el consumo.

Las energías renovables presentan (térmica de baja temperatura y fotovoltaica) las características necesarias para su aplicación inmediata en edificios y son las de menor impacto ambiental.

## 2.4. El código técnico de la edificación

El Código Técnico de la Edificación (CTE en adelante), se aprobó mediante el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo de 2006. Posteriormente ha sido modificado mediante la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre de 2013.

Esta normativa determina las características mínimas que debe cumplir todo edificio (salvo las excepciones contempladas en la propia norma) que se construya o se rehabiliten.

Se estructura en Documentos Básicos (DB) que contemplan los distintos aspectos que deben contemplarse para el diseño y ejecución de los edificios:

- DB-SE: Documento base de Seguridad Estructural, subdividido en:
- DB-SE-AE: Acciones en la edificación.
- DB-SE-A: Estructuras de acero

- DB-SE-C: Cimentaciones.
- DB-SE-F: Estructuras de fábrica.
- DB-SE-M: Estructuras de madera.
- DB-SI: Documento base de Seguridad en caso de Incendio.
- DB-SU: Documento base de Seguridad de Utilización.
- DB-HS: Documento base de Salubridad.
- DB-HE: Documento base de Ahorro de Energía.

En la siguiente figura se muestra un esquema de los diferentes documentos básicos, y de otras normas relacionadas con ellos, como son el Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE).



Figura 19 Estructura del Código Técnico de la Edificación

#### 2.4.1. El documento básico de ahorro de energía

El Documento Básico de Ahorro de Energía (en adelante DB-HE) está dividido en dos secciones que hacen referencia a los siguientes aspectos:

- Limitación del consumo energético.

- Limitación de la demanda de energía.
- Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- Eficiencia de las instalaciones de iluminación.
- Aportación solar mínima a la producción de agua caliente sanitaria
- Aportación fotovoltaica mínima de energía eléctrica.

Esto ha supuesto un importante cambio de tendencia con respecto a la normativa anterior (NBE-CT-79) en donde fundamentalmente se tenía en consideración el nivel de aislamiento del edificio (era una norma conservativa), mientras que en este caso el propósito se hace más general a imponer una limitación tanto a la demanda como al consumo de energía del edificio, las cuales van en función de la zona climática en donde vaya a ser construido y la tipología del mismo.

Se tratan los principales aspectos de eficiencia energética: la climatización, la producción de agua caliente sanitaria (ACS) y la iluminación.

Además, se contempla la obligación de la instalación de energía solar, tanto térmica como fotovoltaica, siempre que sea posible desde el punto de vista técnico. En caso que no sea posible se tienen mayores exigencias sobre el resto de condiciones de eficiencia energética, con la finalidad de igualar las emisiones totales de CO<sub>2</sub> con el caso en que hubiese sido posible realizar las instalaciones de energía solar térmica.

#### 2.4.2. La limitación del consumo energético

Una de las principales modificaciones que ha sufrido el DB-HE con respecto a su anterior edición es la inclusión de la limitación del consumo energético de los edificios.

### **Edificios residenciales de uso privado**

Según la nueva redacción de este documento el consumo energético de energía primaria no renovable del edificio o la parte ampliada, en su caso, no debe superar el valor límite  $C_{ep,lim} = C_{ep,base} + \frac{F_{ep,sup}}{s}$  donde,

$C_{ep,lim}$  Es el valor límite del consumo energético de energía primaria no renovable para los servicios de calefacción, refrigeración y ACS, expresada en  $kW \cdot h/m^2 \cdot año$ , considerada la superficie útil de los espacios habitables;

$C_{ep,base}$  Es el valor base del consumo energético de energía primaria no renovable, dependiente de la zona climática de invierno correspondiente a la ubicación del edificio;

$F_{ep,sup}$  Es el factor corrector por superficie del consumo energético de energía primaria no renovable, que toma los valores de siguiente tabla;

S es la superficie útil de los espacios habitables<sup>1</sup> del edificio, o la parte ampliada, en m<sup>2</sup>.

	Zona climática de invierno					
X	$\alpha$	A*	B*	C*	D	E
$C_{ep,base}$ [kW·h/m <sup>2</sup> ·año]	40	40	45	50	60	70
$F_{ep,sup}$	1000	1000	1000	1500	3000	4000

Tabla 1 Valor base y factor corrector por superficie del consumo energético

## Resto de edificios

Para edificios distintos los residenciales de uso privado (viviendas en todas sus tipologías) los edificios que se construyan o rehabiliten deben obtener como mínimo una calificación B según la norma vigente.

Es decir el modo de justificación del cumplimiento de la normativa se basa en la calificación energética que obtengan del proceso de certificación.

### 2.4.3. La limitación de la demanda

El propósito de esta sección del DB-HE es que los edificios que se construyan o rehabiliten, en función de la zona climática que se estén ubicados deben tener una demanda energética para climatización limitada. Es decir, sus características

---

<sup>1</sup> Recinto habitable: recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas.

técnicas serán tales que la demanda de energía para climatización no podrá exceder de un determinado valor, que varía en función de su uso (residencial y el resto).

Esto se consigue mediante la exigencia de unas determinadas calidades en su composición y diseño.

En cuanto a su composición, los cerramientos deberán cumplir unos determinados valores máximos para las siguientes propiedades:

- Transmitancia térmica de muros de fachada  $U_m$ ;
- Transmitancia térmica de cubiertas  $U_c$ ;
- Transmitancia térmica de suelos  $U_s$ ;
- Transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno  $U_T$ ;
- Transmitancia térmica de huecos  $U_H$ ;
- Factor solar modificado de huecos  $F_H$ ;

En cuanto al diseño, las exigencias para los cerramientos transparentes (ventanas y otros elementos transparentes) varían en función de su orientación y el porcentaje de fachada que ocupan.

La zonificación climática que se ha hecho de España ha utilizado un parámetro denominado “severidad climática”, el cual discrimina 5 zonas de invierno (A=invierno suave, B, C, D, E= invierno riguroso) y cuatro de verano (1=verano suave, 2, 3, 4= verano riguroso), generando por tanto una posible matriz climática que iría desde la A1, hasta la E4. No todas las zonas existen en la climatología española.

En esta zonificación están incluidas todas las capitales de provincia en España. Para municipios diferentes a la capital de provincia se hace una corrección por altitud. Para determinar la zona climática del lugar donde se va a construir el edificio debe seguirse el procedimiento marcado en el apéndice B de la Orden FOM/1635/2013, basada en las tablas B.1 y B.2 de la mencionada Orden.

A título de ejemplo se transcribe la ficha de exigencias para una zona climática concreta: D3.

### D.2.15 ZONA CLIMÁTICA D3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,66 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,49 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,38 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos $U_{Hlim} \text{ W/m}^2 \text{ K}$				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	3,5	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,0	3,5	3,5	3,5	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,5	2,9	3,5	3,5	-	-	-	0,54	-	0,57
de 31 a 40	2,2	2,6	3,4	3,4	-	-	-	0,42	0,58	0,45
de 41 a 50	2,1	2,5	3,2	3,2	0,50	-	0,53	0,35	0,49	0,37
de 51 a 60	1,9	2,3	3,0	3,0	0,42	0,61	0,46	0,30	0,43	0,32

Tabla 2 Exigencias para la envolvente del edificio en el DB-HE, para un edificio situado en la zona climática D3

Como se observa, además de los valores límite para los paramentos opacos, se establecen valores mínimos para los paramentos transparentes en dos características: La transmitancia térmica y el factor solar modificado.

El primer parámetro limita las pérdidas por conducción convención entre el interior y exterior del edificio, el segundo tiene en consideración la ganancia solar que se produce a través del paramento, teniendo en consideración las sombras que se pueden producir por la configuración del elemento (retranqueo, voladizos, etc.).

Además de estas exigencias se estipulan las siguientes:

La permeabilidad al aire de las carpinterías, medida con una sobrepresión de 100 Pa, tendrá unos valores inferiores a los siguientes:

- Para las zonas climáticas  $\alpha$ , A y B:  $50 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ ;
- Para las zonas climáticas C, D y E:  $27 \text{ m}^3/\text{h m}^2$ .

Los paramentos que separan zonas de distintos usos, zonas comunes y medianeras, deben cumplir con las siguientes limitaciones para la transmitancia térmica, en  $kWh/m^2 \cdot \text{año}$ .

Cerramientos y particiones interiores	Zona	Zonas	Zonas	Zonas	Zonas	Zonas
	$\alpha$	A	B	C	D	E
Particiones horizontales y verticales	1,35	1,25	1,10	0,95	0,85	0,70

Tabla 3 Exigencias para los paramentos interiores en el DB-HE



Si las zonas que separan el paramento son del mismo uso (tabiques interiores de una misma vivienda, por ejemplo), las limitaciones para la transmitancia térmica son las siguientes:

<b>Cerramientos y particiones interiores</b>	<b>Zona</b>	<b>Zonas</b>	<b>Zonas</b>	<b>Zonas</b>	<b>Zonas</b>	<b>Zonas</b>
	<b><math>\alpha</math></b>	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>E</b>
Particiones horizontales	1,90	1,80	1,55	1,35	1,20	1,00
Particiones verticales	1,40	1,40	1,20	1,20	1,20	1,00

**Tabla 4 Exigencia para los parámetros interiores que separan zonas del mismo uso**

Asimismo se exige que en los paramentos exteriores no se produzcan condensaciones intersticiales.

Para certificar el cumplimiento de la limitación de la demanda se puede seguir dos procedimientos:

- I. Opción simplificada, basada en el control indirecto de la demanda energética de los edificios mediante la limitación de los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica. La comprobación se realiza a través de la comparación de los valores obtenidos en el cálculo con los valores límites permitidos. Esta opción podrá aplicarse a obras de edificación de nueva construcción y a obras de rehabilitación de edificios existentes, que cumplan los requisitos siguientes:
  - a) Que la superficie de huecos en cada fachada sea inferior al 60% de su superficie;
  - b) Que la superficie de lucernarios sea inferior al 5% de la superficie total de la cubierta.
  - c) Como excepción, se admiten superficies de huecos superiores al 60% en aquellas fachadas cuyas áreas supongan un porcentaje inferior al 10% del área total de las fachadas del edificio.
  - d) Quedan excluidos aquellos edificios cuyos cerramientos estén formados por soluciones constructivas no convencionales tales

como muros Trombe, muros parietodinámicos, invernaderos adosados, etc.

e) En el caso de obras de rehabilitación, se aplicarán a los nuevos cerramientos los criterios establecidos en esta opción.

II. Opción general, basada en la evaluación de la demanda energética de los edificios mediante la comparación de ésta con la correspondiente a un edificio de referencia que define la propia opción. Esta opción podrá aplicarse a todos los edificios que cumplan los requisitos siguientes:

a) La única limitación para la utilización de la opción general es la derivada del uso en el edificio de soluciones constructivas innovadoras cuyos modelos no puedan ser introducidos en el programa informático que se utilice.

b) En el caso de utilizar soluciones constructivas no incluidas en el programa se justificarán en el proyecto las mejoras de ahorro de energía introducidas y que se obtendrán mediante método de simulación o cálculo al uso.

En consecuencia, usando el programa informático LIDER podemos realizar la justificación del cumplimiento de la demanda energética de cualquier edificio, siempre que este no se diseñe con soluciones que no sea capaz de simular.

## Edificios Residenciales

En el caso de los edificios de uso residencial las demandas no podrán exceder de las resultantes de las siguientes relaciones:

– Demanda de calefacción.

$$D_{cal,lim} = D_{cal.base} + \frac{F_{cal,sup}}{S}$$

Donde,

$D_{cal,lim}$  Es el valor límite de la demanda energética de calefacción, expresada en  $W \cdot h/m^2 \cdot año$ , considerada la superficie útil los habitables;

$D_{cal,base}$  Es el valor base de la demanda energética de calefacción, para cada zona climática de invierno correspondiente al edificio, que toma los valores de la tabla 5;

$F_{cal,sup}$  Es el factor corrector por superficie de la demanda energética de calefacción, que toma los valores de la tabla 5;

$S$  Es la superficie útil de los espacios habitables del edificio, en  $m^2$

Zonas climáticas de invierno:

	$\alpha$	A	B	C	D	E
$D_{cal,base} [kW \cdot \frac{h}{m^2} \cdot \text{año}]$	15	15	15	20	27	40
$F_{cal,sup}$	0	0	0	1000	2000	3000

Tabla 5 Coeficientes para determinar la demanda máxima permitida en calefacción.

## Edificios no residenciales

Si el edificio no es del sector residencial, la demanda del edificio no puede exceder de un determinado porcentaje en comparación con el edificio de referencia<sup>2</sup>. Estos porcentajes se describen en la siguiente tabla.

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

Tabla 6 Limitación de la demanda de los edificios distintos a uso residencia privado, comparado con el consumo del edificio de referencia

\*No debe superar la demanda límite del edificio de referencia

<sup>2</sup> Edificio de referencia: Edificio obtenido a partir del edificio objeto que se define con su misma forma, tamaño, orientación, zonificación interior, uso de cada espacio e iguales obstáculos y unas soluciones constructivas con parámetros característicos iguales a los establecidos en el Apéndice D del Documento Básico de Ahorro de Energía.

En caso que los edificios que se construyan o rehabilitan puedan asimilarse a los edificios de uso residencial privado, por su baja carga interna y por el uso continuado de los mismos, podrán calcular la limitación de la demanda por el mismo procedimiento que las viviendas.

#### 2.4.4. Eficiencia energética en iluminación

Dependiendo del tipo de edificio, el consumo en iluminación puede significar un importante porcentaje del consumo total.

Este porcentaje es tanto más elevado en la medida en que los equipos que suministran la energía son más ineficientes.

En el DB-H la primera distinción se realiza por zonas, distinguiendo las que se reflejan en la tabla siguiente:

Zonas de actividad diferenciada	VEEI límite
administrativo en general	3,0
andenes de estaciones de transporte	3,0
pabellones de exposición o ferias	3,0
salas de diagnóstico	3,5
aulas y laboratorios	3,5
habitaciones de hospital	4,0
recintos interiores no descritos en este listado	4,0
zonas comunes	4,0
almacenes, archivos, salas técnicas y cocinas	4,0
aparcamientos	4,0
espacios deportivos	4,0
estaciones de transporte	5,0
supermercados, hipermercados y grandes almacenes	5,0
bibliotecas, museos y galerías de arte	5,0
zonas comunes en edificios no residenciales	6,0
centros comerciales (excluidas tiendas)	6,0
hostelería y restauración	8,0
religioso en general	8,0
salones de actos, auditorios y salas de usos múltiples y convenciones, salas de ocio o espectáculo, salas de reuniones y salas de conferencias	8,0
tiendas y pequeño comercio	8,0
habitaciones de hoteles, hostales, etc.	10
Locales con nivel de iluminación superior a 600 lux	2,5

**Tabla 7 Exigencias para el VEEI en diferentes espacios**

El factor de evaluación del cumplimiento de las exigencias es el VEEI (Valor de Eficiencia Energética de la Instalación), el cual se define por la siguiente relación:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m}$$

Siendo

$P$  la potencia de la lámpara más el equipo auxiliar [ $W$ ];

$S$  la superficie iluminada [ $m^2$ ];

$E_m$  la iluminancia media mantenida [ $lux$ ]

La iluminancia media es la exigencia en cantidad de luz que debe obtenerse en el plano de trabajo.

Las recomendaciones en cuanto al valor de  $E_m$ , dependen del tipo de actividad que se vaya a realizar en la zona, esta tabulada en diferentes documentos y normas como UNE 12464-1 “Iluminación en lugares de trabajo. Parte I: Lugares de trabajo interiores” y UNE 12193 “Iluminación de instalaciones deportivas”.

En la documentación anexa se pueden ver los valores que se exigen en estas normas.

Asimismo se exige que la potencia instalada por unidad de área no puede exceder de los valores que se presentan en la siguiente tabla:

Uso del edificio	Potencia máxima instalada [ $W/m^2$ ]
Administrativo	12
Aparcamiento	5
Comercial	15
Docente	15
Hospitalario	15
Restauración	18
Auditorios, teatros, cines	15
Residencial Público	12
Otros	10
Edificios con nivel de iluminación superior a 600 lux	25

Tabla 8 Limitación de la potencia instalada en iluminación, en función del tipo de edificio

Por otro lado, en la norma se exigen controles adecuados para cada tipo de estancia, siendo preceptivo que este control, si no es automática debe estar en cada uno de los recintos, no permitiéndose la centralización de los interruptores en espacios distintos a las luminarias que controlan.

En el caso de lugares de tránsito (escaleras, pasillos, etc.) deberá instalarse un control de presencia o un temporizador que garantice que la iluminación no será utilizada a no ser que sea necesaria.

En los espacios con ganancia solar (espacios a menos de tres metros de una ventana, o espacios bajo lucernarios) se exige la instalación de sistemas de control de flujo luminoso en función de la ganancia luz natural, de tal modo que las luminarias aporten la cantidad de luz necesaria para cubrir el déficit de la natural.

#### 2.4.5. Aporte solar a la producción de ACS

Todo edificio de nueva construcción, en función de la zona climática donde se encuentre y la demanda total de agua caliente sanitaria, estará obligado a cubrir un porcentaje de esta demanda mediante el empleo de sistemas solares térmicos.

Demanda total de ACS del edificio (l/d)	Zona climática				
	I	II	III	IV	V
50 – 5.000	30%	30%	40%	50%	60%
5.000 – 10.000	30%	40%	50%	60%	70%
>10.000	30%	50%	60%	70%	70%

**Tabla 9 Porcentaje de energía solar térmica para cubrir la demanda de ACS en los edificios**

#### 2.4.6. Contribución fotovoltaica a la producción de energía eléctrica

Otro impulso considerable al uso de energías renovables en el sector de los edificios es la obligación de producir cierta cantidad de energía eléctrica mediante tecnología fotovoltaica.

Esta obligación no incluye a los edificios residenciales. Los edificios obligados a incorporar esta tecnología son los que se señalan a continuación:

- Hipermercado
- Multi-tienda y centros de ocio
- Nave de almacenamiento y distribución
- Instalaciones deportivas cubiertas
- Hospitales, clínicas y residencias asistidas
- Pabellones de recintos feriales

La potencia pico que están obligados a instalar se obtiene de la relación:

$$P = C \cdot (0,002 \cdot S - 5)$$

Siendo  $P$  la potencia pico a instalar,  $S$  la superficie construida total del edificio y  $C$  un parámetro cuyo valor es función de la zona climática, tal como se expresa en la siguiente tabla.

Zona climática	I	II	III	IV	V
$C$	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4

Tabla 10 Parámetro C en función de zona climática

## 2.5. La certificación energética de edificios

### 2.5.1. El objetivo de la certificación

El objetivo podríamos dividirlo en dos: un objetivo “filosófico” y otro “práctico”. El objetivo filosófico es el que se apuntaba en la introducción, es decir reducir las emisiones de  $CO_2$  a la atmósfera mediante tres vías:

1. Reducción de la demanda de energía por parte del edificio.
2. Uso de sistemas más eficiente para suministrar esta demanda de energía.
3. Uso de fuentes de energía renovables.

Todo ello desarrollado normativamente dentro del CTE, con lo cual parece innecesario desarrollar otro instrumento legal para conseguir lo mismo.

Evidentemente la importancia de este R.D. reside en su objetivo práctico que es asegurar el cumplimiento de la normativa vigente. Este sería, evidentemente su gran logro: que los edificios de nueva construcción, así como las rehabilitaciones importantes, cumpliesen el CTE.

Un segundo gran logro sería que el usuario final tuviese como criterio importante en la selección del edificio las características energéticas del mismo, reflejadas a través de la etiqueta de eficiencia energética que surge de la aplicación del procedimiento de certificación.

Es decir que, como consecuencia del desarrollo normativo, se produjese una migración natural de la calidad energética de los edificios hacia unos estándares

más elevados, tanto por el temor a un procedimiento de certificación que pudiese “ilegalizar” al edificio, como por motivos comerciales en los que el cliente exige mayor calidad energética al producto final, y en consecuencia es más fácil vender (más pronto, más caro o ambas a la vez) un edificio de alta eficiencia energética que otro que no la tiene tan alta.

### 2.5.2. El real decreto 235/2013

Este Real Decreto de 5 de abril de 2013, publicado en el BOE el 13 del mismo mes sustituye al R.D. 47/2007, el cual regulaba exclusivamente la certificación energética de nuevos edificios y de los que sufrieran una reforma considerable, es decir a los que también les afectaba el CTE.

### 2.5.3. ¿Qué edificios deben certificarse?

Según el Real Decreto, este procedimiento básico es de aplicación a:

a) Edificios de nueva construcción.

b) Edificios o partes de edificios existentes que se vendan o alquilen a un nuevo arrendatario, siempre que no dispongan de un certificado en vigor.

c) Edificios o partes de edificios en los que una autoridad pública ocupe una superficie útil total superior a 250 m<sup>2</sup> y que sean frecuentados habitualmente por el público.

Se excluyen del ámbito de aplicación:

a) Edificios y monumentos protegidos oficialmente por ser parte de un entorno declarado o en razón de su particular valor arquitectónico o histórico.

b) Edificios o partes de edificios utilizados exclusivamente como lugares de culto y para actividades religiosas.

c) Construcciones provisionales con un plazo previsto de utilización igual o inferior a dos años.

d) Edificios industriales, de la defensa y agrícolas o partes de los mismos, en la parte destinada a talleres, procesos industriales, de la defensa y agrícolas no residenciales.



e) Edificios o partes de edificios aislados con una superficie útil total inferior a  $50 m^2$ .

f) Edificios que se compren para reformas importantes o demolición.

g) Edificios o partes de edificios existentes de viviendas, cuyo uso sea inferior a cuatro meses al año, o bien durante un tiempo limitado al año y con un consumo previsto de energía inferior al 25 por ciento de lo que resultaría de su utilización durante todo el año, siempre que así conste mediante declaración responsable del propietario de la vivienda.

En resumen la mayor parte de los edificios deberán ser certificados, lo cual abre un importante campo de trabajo para los próximos años, y además con continuidad en el tiempo, ya que la validez del certificado es de 10 años, y transcurrido este tiempo debe renovarse.

#### 2.5.4. ¿Cómo debe certificarse un edificio o una parte del mismo?

Para cumplir con este requisito legal deben utilizarse las herramientas (que pueden ser de diferente naturaleza) reconocidas por los ministerios de Fomento y de Industria Comercio y Turismo, las cuales reciben el calificativo de documentos reconocidos.

Dentro de estos documentos reconocidos se encuentra el programa informático CALENER, en sus dos versiones VYP para edificios de vivienda y pequeño terciario, y GT para edificios grandes. Estos se consideran programas de referencia y son de aplicación a cualquier edificio, siempre que no contenga soluciones constructivas que no se puedan simular en este software.

Además de estos existen otros documentos reconocidos que son de aplicación en función de las condiciones del edificio.

Los programas informáticos CE3 y CE3X, son herramientas informáticas promovidas por el Ministerio de Industria, Energía y Turismo, a través del IDAE, y por el Ministerio de Fomento, que permite obtener la certificación de eficiencia energética de un edificio existente.

### 2.5.5. ¿Quién puede certificar los edificios?

El Real Decreto define dos tipos de categoría profesional para la certificación:

**Técnico competente:** técnico que esté en posesión de cualquiera de las titulaciones académicas y profesionales habilitantes para la redacción de proyectos o dirección de obras y dirección de ejecución de obras de edificación o para la realización de proyectos de sus instalaciones térmicas, según lo establecido en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, o para la suscripción de certificados de eficiencia energética, o haya acreditado la cualificación profesional necesaria para suscribir certificados de eficiencia energética según lo que se establezca mediante la orden prevista en la disposición adicional cuarta.

Acudiendo a esta disposición adicional cuarta, dice textualmente:

Mediante Orden conjunta de los titulares de los Ministerios de Industria, Energía y Turismo y de Fomento, se determinarán las cualificaciones profesionales requeridas para suscribir los certificados de eficiencia energética, así como los medios de acreditación. A estos efectos, se tendrá en cuenta la titulación, la formación, la experiencia y la complejidad del proceso de certificación.

**Técnico ayudante del proceso de certificación energética de edificios:** técnico que esté en posesión de un título de formación profesional, entre cuyas competencias se encuentran la colaboración como ayudante del técnico competente en el proceso de certificación energética de edificios.

Adicionalmente, el R.D. establece la obligación de los organismos competentes en las CC.AA. de realizar inspecciones sobre los certificados expedidos cada año. Estas inspecciones deben realizarse sobre una muestra representativa estadísticamente.

La revisión puede hacerse mediante los técnicos cualificados de los propios organismos, o bien delegar en los agentes autorizados, que serán organismos o entidades de control que cumplan los requisitos técnicos establecidos en el Real Decreto 410/2010, de 31 de marzo, para el ejercicio de su actividad en el campo reglamentario de la edificación, así como las entidades de control habilitadas para

el campo reglamentario de las instalaciones térmicas, o técnicos competentes independientes.

Existe por tanto una gama amplia de técnicos competentes también para realizar labores de inspección en la certificación energética de edificios.

### 2.5.6. Procedimiento de certificación

Una vez establecidas las responsabilidades se especifica el procedimiento, pudiéndose optar por dos líneas de obtención de la calificación<sup>3</sup> energética:

- El cálculo simplificado a través de un procedimiento recogido en un documento reconocido.
- El cálculo general, mediante la aplicación de una herramienta de simulación energética dinámica<sup>4</sup>, que bien puede ser la herramienta de referencia (CALENER-VYP o GT en función si se trata de edificios residenciales o pequeños edificios del sector terciario o grandes edificios del sector terciario, respectivamente), o herramientas similares que hayan pasado con éxito un procedimiento para ser consideradas como herramientas alternativas, y en consecuencia pasen a ser documentos reconocidos por parte de los Ministerios de Industria y de Vivienda.

Una vez calificado el edificio se obtiene una etiqueta, similar a la etiqueta energética de los electrodomésticos, en donde viene reflejada la siguiente información:

---

<sup>3</sup> En el R.D. se distingue el concepto de calificación energética como el resultado de aplicar una serie de cálculos estándar sobre el edificio cuyo resultado final es el rango al que pertenece en función de las emisiones de  $CO_2$  que produce. Se reserva el concepto de certificación al conjunto del procedimiento, y no sólo al procedimiento de cálculo.

<sup>4</sup> Entendemos por simulación dinámica aquella que simula la evolución temporal de las variables que influyen sobre el comportamiento térmico y energético del edificio, y considera asimismo la evolución temporal de las fuerzas que actúan sobre el mismo (variables meteorológicas y ganancias internas).

- La calificación obtenida, en un baremo desde la A (mejor eficiencia) a la G (peor eficiencia)
- Si la certificación es sobre el proyecto o sobre el edificio terminado.
- Identificación del edificio certificado,
- La localidad y la zona climática en donde está, el uso del mismo,
- El consumo de energía total por año (kWh/año) y normalizado por unidad de área (kWh/m<sup>2</sup>)
- Las emisiones de CO<sub>2</sub> totales por año y normalizadas por unidad de área.

Todo ello queda reflejado en la etiqueta que se presenta en la figura adjunta.

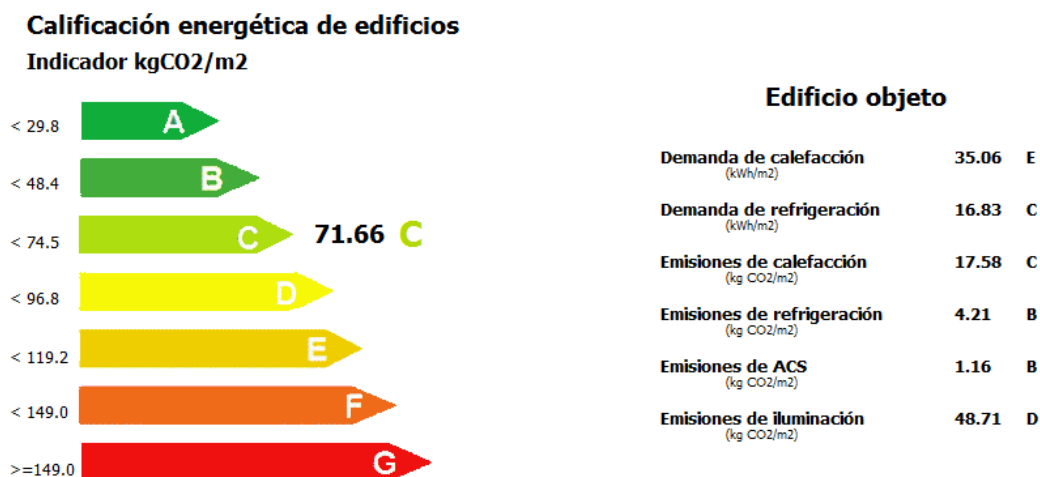


Figura 20 Formato de la etiqueta energética para los edificios

### 2.5.7. El control externo de la certificación

El control corresponde a las CC.AA. La mayor parte opta por que esta labor sea desarrollada por organismos acreditados para las inspecciones técnicas de calidad de la edificación, si bien existen al igual que ocurría con el anterior R.D. 47/2007 que regulaba la certificación energética de los edificios de nueva construcción, deja abierta la posibilidad de que los técnicos competentes, según la definición que se ha dado anteriormente, puedan ejercer estas funciones.

El RD establece que el control se realizará sobre una selección al azar de al menos una proporción estadísticamente significativa de los certificados de eficiencia energética expedidos anualmente y comprenderá al menos las siguientes actuaciones u otras equivalentes:

- Comprobación de la validez de los datos de base del edificio utilizados para expedir el certificado de eficiencia energética, y los resultados consignados en este.
- Comprobación completa de los datos de base del edificio utilizados para expedir el certificado de eficiencia energética, comprobación completa de los resultados consignados en el certificado, incluidas las recomendaciones formuladas, y visita in situ del edificio, con el fin de comprobar la correspondencia entre las especificaciones que constan en el certificado de eficiencia energética y el edificio certificado.

Además el órgano competente de cada CC.AA. dispondrá de un registro de los certificados emitidos, en donde la propiedad del edificio deberá registrarlo.

Los certificados tendrán una validez de 10 años, por lo que, además del potencial mercado inmediato, existe una continuidad en el mismo a tener caducidad el certificado.



# Capítulo 3. La planificación de una auditoría energética.

### 3.1. Documentación previa

La auditoría energética que se realizará sobre un edificio tiene como objetivo principal reducir el consumo energético del mismo sin que ello signifique una disminución del nivel de prestaciones y servicios que se dispone en la actualidad.

Es necesario conocer:

- El consumo energético actual, así como discriminar de donde proviene.
- El estado actual de los equipos e instalaciones que consumen, transportan y distribuyen la energía dentro de cada edificio.
- La demanda energética de climatización, estimada a través de las características constructivas, de ocupación y el nivel térmico exigido.
- La demanda energética en ACS estimada a través del uso de la instalación y las características técnicas de la misma.
- La demanda energética en iluminación estimada a través de las características técnicas del sistema utilizado y del modo de operación del mismo.
- La demanda energética en equipamiento mediante la estimación del grado de uso y de las características técnicas de los aparatos.

Con esta información se identificarán aquellos puntos que sean susceptibles de mejora y se elaborarán una serie de propuestas encaminadas a disminuir el consumo de energía, las cuales serán de diversa índole, en función del problema a resolver: tecnológicas, de gestión o control, formativas, etc.

Por tanto se deberá disponer de información acerca de todos estos puntos, que en una primera instancia, y para poder evaluar el nivel de trabajo que supondrán las diferentes fases de la auditoría, deberá estar a disposición del auditor en forma documental.

Es necesario destacar que esta documentación no es imprescindible para la realización de la auditoría, pero nos será muy útil para tener una idea clara del trabajo que es necesario desarrollar.



Hacemos a continuación un repaso pormenorizado de la documentación a recabar. En la medida que dispongamos de ella la labor posterior podrá ser mucho más fácil.

### 3.1.1. Planos de arquitectura e instalaciones

No solo es necesario disponer de los documentos físicos (mucho mejor si están en formato electrónico: planos de AutoCAD o similar) sino también de información acerca de las modificaciones que se hayan realizado posteriormente, es decir la fiabilidad de los planos en cuanto al estado real del edificio.

#### **Planos de arquitectura**

De esta documentación debemos obtener la siguiente información que será relevante para el posterior análisis energético del edificio:

- Determinación de la orientación del edificio.
- Composición de cerramientos exteriores (cubiertas, fachadas, forjados exteriores y/o en contacto con el terreno) e interiores (tabiques, medianeras).
- Composición de los cerramientos interiores para determinar el nivel de masa térmica del edificio.
- Tipología y calidad de las ventanas y puertas: Tipo de marco y vidrio y nivel de estanqueidad en caso de los elementos exteriores.
- Distribución de los espacios interiores.

#### **Planos de las instalaciones de climatización**

Se debe obtener la información siguiente:

- Del conjunto de la caldera y el quemador se tomarán los datos de:
  - Marca y modelo de caldera y quemador.
  - Año de fabricación y de instalación tanto de la caldera como del quemador.
  - Tipología de caldera (estándar, baja temperatura o condensación).
  - Tipo de combustible utilizado.

- Potencia nominal tanto de la caldera como del quemador.
- De las bombas de calor.
  - Marca y modelo.
  - Año de fabricación e instalación.
  - Potencia térmica nominal, total y sensible.
- De las Unidades de Tratamiento de Aire (UTAs en adelante):
  - Potencia de intercambio de las baterías de frío y/o calor.
  - Potencia y caudal nominal de los ventiladores.
  - Existencia o no de recuperadores de calor.
  - Tipología del control de humedad.
- De las bombas de impulsión y los ventiladores.
  - Marca y modelo.
  - Año de fabricación e instalación.
  - Caudales nominales.
- Del circuito de distribución.
  - Nivel de aislamiento de conductos y tuberías.
  - Dimensiones de las conducciones y relación con la potencia nominal de bombas o ventiladores.
  - Tipo de unidades terminales.
- Del sistema de control.
  - Esquema operativo del control establecido para el funcionamiento de los equipos y las unidades terminales.
- Del ACS.
  - Volumen de acumulación existente.
  - Características del depósito de acumulación: Factor de forma, nivel de aislamiento, material en que está construido, etc.
  - Relación entre el volumen de acumulación y la potencia de la caldera.

Dado que la durabilidad de estos materiales es menor que correspondiente a la estructura del edificio, es muy probable que se hayan sustituido partes de la instalación y que no correspondan a los planos originales del proyecto.

## Plano de instalaciones de iluminación

Antes de continuar es necesario aclarar que cualquier punto de luz se va a denominar como luminaria.

La luminaria está compuesta de tres elementos fundamentales:

- La lámpara que es el elemento que produce la luz.
- La óptica que es el elemento que distribuye la luz producida por la lámpara de diferentes maneras, en función del objetivo de diseño que se persigue.
- El equipamiento auxiliar, que permita el correcto funcionamiento de la lámpara y está compuesto por diversos elementos, en función de cuál sea la tipología de lámpara (balastos, cebadores, condensadores, etc.)

Para caracterizar correctamente la luminaria (punto de luz) debemos describir cada uno de estos tres elementos, ya que la potencia demandada por la luminaria es la suma de la potencia de la lámpara más el conjunto del equipamiento auxiliar.

En este caso la información relevante a obtener del proyecto de iluminación es:

- Tipo de lámparas.
- Potencia de las lámparas.
- Tipología de la óptica de distribución de luz
- Potencia total de los equipos auxiliares: balastos, arrancadores,...
- Control de la iluminación (Manual, automático, accesible, centralizado, etc.)
- Número de luminarias discriminado por tipología y estancias del edificio.

Es muy probable que de no existir un proyecto específico de iluminación esta información no esté disponible en la documentación recabada, pero es importante tener una idea del número y distribución de las luminarias en el edificio.

### 3.1.2. Facturas de energía

Desde el punto de vista del planteamiento energético es fundamental disponer de las facturas energéticas del edificio, ya que estas nos darán una visión general del problema:

- Cantidad total de energía consumida, con la cual podremos comparar con otros edificios de iguales características y obtener el valor de parámetros significativos (energía por unidad de área, por número de trabajadores, por número de ocupantes, etc.)
- El interés económico que presenta la aplicación de acciones de eficiencia energética, así como el nivel de inversiones razonable para el monto económico que se trata.

Además de esto es el valor de referencia con el cual vamos a tratar de cuadrar los balances energéticos a partir de la información recabada de la documentación y de la labor de campo que se realizará.

Será el parámetro fundamental para comprobar la calidad de nuestro modelo energético del edificio, y con el cual trabajaremos posteriormente para realizar las propuestas de mejora.

### **Facturas de electricidad**

Necesitamos un año completo de facturas (12 meses consecutivos, independientemente de donde comience ya acabe la secuencia).

Habitualmente en las facturas está reflejada toda la información que se requiere para hacer un análisis completo. No obstante es bueno disponer también del contrato de suministro que ha suscrito nuestro cliente con la empresa comercializadora de electricidad, con el fin de conocer los pormenores de la misma y poder asesorar en el cambio o negociación del contrato.

De estas facturas obtendremos como información relevante los siguientes datos:

- Consumo energético total y mensual (*kWh*)
- Coste de la electricidad
  - Total

- Mensual
- Precio del *kWh*
- Energía reactiva y sus costes.
- Terminos de potencia.
  - Coste del *kW*
  - Penalización por exceso de potencia

### **Facturas de combustibles**

En caso que la medida de los combustibles se haga mediante contador, como es el suministro de gas natural o en algunos casos el GLP servido desde un depósito centralizado, únicamente serán necesarias, al igual que en el caso de la electricidad las facturas de un año completo, a poder ser del mismo periodo de facturación de la electricidad.

En caso que el combustible sea servido a demanda del cliente, y por tanto las facturas no harán referencia a un periodo de consumo constante, sino que este irá en función de la demanda de energía del edificio, será necesario disponer de dos años de facturas de combustibles con el fin de poder extrapolar con mayor exactitud los consumos mensuales.

De estas facturas extraeremos los datos críticos de:

- Precio del combustible
- Consumo real

#### **3.1.3. Aparatos consumidores**

Este aspecto es crítico en la realización de auditorías energéticas en industria ya que el proceso industrial es el que mayor consumo energético producirá, por lo que conocer las características de estos aparatos será fundamental, tanto para estimar su contribución al balance global energético como para poder realizar propuestas de disminución del consumo energético.

En edificios estos aparatos suelen ser los sistemas de climatización: calderas, bombas de calor, enfriadoras. De estos deberemos obtener información técnica bien porque esté en posesión de la propiedad del edificio, bien consultando a los fabricantes directamente.

La información del resto de los aparatos, cuya contribución individual al balance global es muy pequeña, bastará con tomar las dos características fundamentales:

- Potencia del aparato
- Tiempo de uso

Ambas se tomarán en el desarrollo de la labor de campo sobre el edificio siendo innecesario recabar información en una fase previa.

En cualquier caso si existe algún aparato distinto de los de climatización que tenga un consumo energético importante deberá obtenerse información detallada de sus características.

## 3.2. Análisis de la información recopilada

Con la información analizada en la documentación estamos en condiciones de evaluar un protocolo de actuación para realizar la auditoría energética.

Además de ello se pueden realizar una serie de análisis que conducirán a propuestas para la mejora de la eficiencia energética.

### 3.2.1. Optimización de la factura eléctrica

Mediante el análisis de las facturas de electricidad, sin necesidad de hacer ninguna labor adicional, es posible obtener importantes reducciones de coste de la electricidad.

Con estas medidas no tenemos ningún ahorro energético, pero si económico, que en última instancia es el que más le interesa a la mayoría de los clientes.

Existen varios puntos en los que se puede reducir la factura eléctrica:

1. El precio de la energía y de la potencia contratada que variará según las tarifas de las diferentes compañías comercializadoras.

Debe conocerse el precio de todas las empresas de comercialización de electricidad que operan en la zona del cliente con el fin de proponerle la que más le conviene. Es evidente que debe analizarse con detenimiento el contrato porque existen cláusulas por las cuales puede haber un incremento de los precios.

2. La potencia contratada que puede no ser la más adecuada para las necesidades del cliente, lo cual puede suponer recargos importantes para el cliente.

Si la energía contratada es inferior a la que el cliente va a requerir para el funcionamiento normal del edificio lo que está sucediendo es que está pagando unos costes fijos más elevados de lo que deberían ser si se ajustase a la potencia óptima.

Si la energía contratada es inferior a la que requiere el edificio para desarrollar su actividad normal lo que sucede es que se estarán pagando continuas penalizaciones por exceso de potencia.

Esta penalización únicamente se aplica en aquellos contratos que disponen de un contador con lectura de maxímetro (registra la potencia máxima demandada dentro del periodo de facturación).

La aplicación de estas penalizaciones está regulada y cuando un usuario excede en el 105% la potencia el exceso tiene un coste que multiplica por dos el precio de tarifa. Es decir la potencia a pagar sería la resultante de la fórmula:

$$Pot. a Facturar = Pot. Máxima + 2x(Pot. Máxima - Pot. Cont. x 105\%)$$

Es decir si se tienen contratados 100 kW y en un mes se registra una potencia máxima de 125 kW, por ejemplo se pagará una cantidad de 165 kW, es decir un recargo en el término de potencia del 65%, que es el resultado de aplicar la fórmula anterior:  $125 + 2x(125 - 105) = 165$

Si el contador no dispone de maxímetro debe tener un limitador de potencia, es decir, si se demanda mayor potencia lo que ocurre es que se interrumpe el suministro eléctrico.

3. La penalización por reactiva.

Si la instalación tiene motores eléctricos estos generan energía reactiva, la cual perturba la señal eléctrica en la red de distribución. Esto es contraproducente para la buena calidad del servicio en general, por ello la producción de energía reactiva está penalizada.

Las penalizaciones pueden ser muy importantes, por lo que en no pocos casos está muy justificado desde el punto de vista económico la corrección de la energía reactiva mediante la instalación de baterías de condensadores.

#### 4. La discriminación horaria.

Existe la posibilidad de pagar diferentes precios por la energía en función del periodo del día. EN función de la potencia contratada y de los consumos energéticos se puede optar por dividir el día en dos periodos (punta y valle), en tres (punta, llano y valle) o en seis periodos (desde el P1 al P6), teniendo cada uno de ellos precios diferentes para la energía y la potencia contratada.

En función de los patrones de consumo del edificio puede resultar beneficioso desde el punto de vista económico contratar algún tipo de discriminación horaria que permita aprovechar del precio más barato de la electricidad para reducir los costes energéticos.

### 3.2.2. Análisis de las facturas de combustibles

Como comentábamos anteriormente podemos encontrarnos con facturas cuyo registro de consumo es mediante contador (como ocurre con el gas natural) o por el contrario se sirven a granel y la factura se emite en el momento de la descarga del combustible (Gasóleo, GLP, etc.).

En el primer caso con un año de facturas será suficiente, mientras que el segundo caso necesitaremos al menos dos años de facturas. Es evidente que al hablar de años no nos referimos a años naturales, sino a ciclos de 12 meses consecutivos.

Con los datos se definirá un consumo medio mensual, que en el caso de las facturas por contador será directamente el dato, mientras que en la de los combustibles a granel será necesario realizar suposiciones, apoyándonos en dos antecedentes.



### 3.2.3. Incertidumbres en la documentación recopilada: necesidad de medidas y/u observaciones in situ

Los planos de arquitectura e instalaciones servirán para determinar la cantidad de trabajo a realizar, pero debemos cerciorarnos que corresponde con la realidad del edificio, por lo tanto tendremos que comprobar in situ la fiabilidad de la información documental recibida.

Esta comprobación es fácil cuando los datos que queremos corroborar son visibles, pero se complica cuando no podemos visualizar la información del documento.

Vamos a distinguir entre estos dos tipos de información diferenciándolo por los aspectos que hemos venido considerando hasta el momento.

#### **Características constructivas**

Las dimensiones del edificio es una de las características más estables en el edificio comparándolas con los planos. Suelen ser correctas, salvo en los casos que se haya hecho una ampliación del mismo y no esté documentada, cosa que también es extraña. Por tanto esta característica se comprobará de forma fácil y rápida.

Del mismo modo se comprobará la orientación del edificio, que es si cabe más sencilla que las dimensiones generales.

Asimismo se debe comprobar las dimensiones de los huecos (ventanas, puertas y lucernarios). Es evidente que no es necesario medir uno a uno todos estos elementos, basta con medir un elemento de las distintas tipologías de ventana, puerta o lucernario que existen para comprobar la correspondencia con las dimensiones sobre plano, así como la situación y el número de elementos que existen.

En consecuencia de una manera fácil dispondremos de la información acerca de la envolvente térmica del edificio al conocer:

- La superficie opaca y la superficie de ventana/puerta por cada orientación.

- La calidad de las ventanas en cuanto al marco y al vidrio, comprobando la hermeticidad de las ventanas en cuanto a que se puede efectuar un cierre estanco.

Del mismo modo es fácil e inmediato comprobar si la distribución interior corresponde con la señalada en el plano, mediante una inspección visual del interior del edificio, comprobando las dimensiones de las diferentes estancias. Como se decía anteriormente no es necesario tomar medidas exactas de cada una de ellas, únicamente certificar que la distribución interior no ha sufrido modificación con respecto al proyecto inicial.

Más complejo será certificar la composición del muro, ya que este estará compuesto por distintas capas a las cuales no podemos acceder.

Una comprobación fácil es medir el espesor del muro, comprobando que coincide con lo descrito en plano. Si efectivamente coinciden es muy probable que también lo haga la composición interior.

De todos modos, dada la capital importancia que tiene la composición de los paramentos exteriores para la determinación del consumo energético en climatización se hace necesario conocer con exactitud la conductividad térmica del mismo lo cual podemos hacer de dos modos:

- Mediante la realización de una o varias catas para determinar los diferentes elementos que lo componen.
- La realización de una termografía que nos permitirá inducir la conductividad térmica del paramento.

La primera opción únicamente presenta desventajas, ya que mediante la realización de una cata:

- No podemos asegurar que todo el edificio corresponda con las características puntuales de la zona en que se ha hecho la cata.
- Es una medida que no agrada a la propiedad, ya que significa un deterioro del edificio.
- No es posible apreciar defectos de colocación del aislamiento que produzcan puentes térmicos.

En cambio con la realización de una termografía la información que se obtiene es mucho más fiable ya que:

- Se tiene información de una amplia zona del paramento exterior.
- Detecta con facilidad los puentes térmicos.
- Al ser una medida no intrusiva podemos repetirla tantas veces como se desee, hasta completar toda el área exterior del edificio.

La única desventaja que tiene es que la cámara termográfica tiene un coste elevado, si bien se puede alquilar para un solo proyecto

### **Características del sistema de climatización y ACS**

Sucede algo similar a lo que se ha comentado en la parte constructiva. Hay una serie de características de fácil comprobación porque están a la vista. Entre ellas cabe destacar:

- Los sistemas generadores de calor y frío.
- Las bombas de distribución de agua
- Las UTAs

En cambio es más complejo observar las características de las conducciones, tanto tuberías de agua como conductos de aire.

Los conductos de aire suelen estar situados en falsos techos que el acceso, si no fácil, es posible, pero las tuberías en muchas ocasiones están enterradas o empotradas, por lo que su observación directa solo puede hacerse mediante la realización de catas que presentan el mismo problema que hemos señalado anteriormente.

Podemos realizar la misma medida que anteriormente, es decir, realizar una termografía que nos permitirá inducir el coeficiente de pérdidas de la tubería enterrada sin más que observar la diferencia de temperaturas que existe entre el lugar por donde transcurre la tubería enterrada o empotrada y el resto del paramento alejado de este punto.

La cámara termográfica es, por tanto, un instrumento importante para la realización de una auditoría energética.

No solo servirá para los dos casos que hemos comentado anteriormente, sino que será de gran utilidad para detectar fallos de aislamiento en calderas, depósitos de acumulación de ACS.

Asimismo detectará sobrecargas de intensidad en cuadros eléctricos mediante la medida de temperatura en las distintas fases de la acometida eléctrica.

### **Características del sistema de iluminación**

Como se decía anteriormente no es frecuente encontrar un proyecto de iluminación que especifique completamente las características técnicas de las luminarias que se van a instalar. Lo más habitual es que se haga una distribución más o menos racional de los puntos en donde se deberán colocar las luminarias y la potencia requerida de las mismas. No es frecuente que se llegue al detalle de prescribir el tipo de quipo auxiliar y la calidad de la óptica asociada.

Por tanto se deberá hacer un inventario detallado de la tipología de luminaria obteniendo las características directamente en terreno.

Esta puede ser una tarea complicada y tediosa, pero lo más frecuente en los edificios es que existan unos pocos modelos diferentes que se van repitiendo a lo largo de todo el edificio.

En conclusión, poca información que podamos considerar fiable se va a obtener de la documentación preliminar recabada.

### **3.3. Planificación de la auditoría**

Una vez analizada la documentación recabada estamos en disposición de planificar las visitas técnicas a terreno determinado los aspectos siguientes:

- El tiempo requerido para la toma de datos.
- El personal necesario para cumplir con los plazos establecidos.
- La especialización del personal encargado de la toma de datos.
- El instrumental necesario para realizar adecuadamente la toma de datos.

En suma se trata de realizar una carta Gantt donde se contemplen los recursos técnicos y humanos necesarios para realizar las actividades planificadas.

Una vez desarrollada esta carta Gantt se dispondrá de la información necesaria y suficiente para confeccionar el presupuesto al cliente para la realización de la auditoría.

### 3.3.1. Definición de actividades requeridas

Se debe realizar una reunión con la propiedad para definir conjuntamente el trabajo que se va a realizar. En ella se debe identificar al personal responsable de cada edificio para elaborar un plan de visitas técnicas, en las cuales deberá estar presente un técnico de mantenimiento, conocedor del edificio y de las instalaciones tanto térmica como eléctrica.

Las actividades a planificar son las siguientes y que será fruto del análisis de la documentación recabada. Es evidente que las actividades variarán en función del edificio, pero en general serán las siguientes:

- Determinación de las características constructivas:
  - Generales: Dimensión, orientación, huecos y opacos.
  - Determinación de la conductividad de los cerramientos exteriores opacos. Medidas con termografía.
  - Inventario de ventanas con las características constructivas de las mismas.
- Determinación de las características de los sistemas de climatización y ACS:
  - Inventario de unidades terminales (radiadores, difusores, etc.)
  - Medidas del rendimiento de los generadores de energía (calderas, enfriadoras). Uso de analizador de humos.
  - Grado de aislamiento de las conducciones.
  - Características del sistema de acumulación de ACS.
  - Rendimiento de bombas y ventiladores.
  - Características de las UTAs.
- Determinación de los sistemas de iluminación:
  - Inventario de las luminarias observando las características técnicas de lámparas, óptica y equipo auxiliar: potencia y rendimiento lumínico (*luxes/W*).

- Medidas de iluminancia en los puntos críticos de las diferentes estancias. Medidas con luz natural y con luz artificial.
- Determinación de las características de los aparatos.
  - Inventario de aparatos consumidores: potencia y tiempo de uso.
- Medidas de la señal eléctrica: analizador de redes.

### 3.3.2. Acuerdo de visitas con la propiedad. Calendario de acciones

Debe confeccionarse el calendario para la realización de las actividades señaladas anteriormente con el fin de que el responsable de mantenimiento del edificio (conocedor no solo de las instalaciones del mismo, sino también de los problemas que tienen) vaya mostrando al equipo auditor todas las instalaciones así como facilitando el acceso a las mismas.

Es importante definir claramente este punto, ya que la falta de cumplimiento de este compromiso puede suponer una pérdida de tiempo inasumible por parte de la empresa auditora y que además retrase la entrega del trabajo.

### 3.3.3. Definición del instrumental necesario

El instrumental necesario para la elaboración de una auditoría energética variará en función de las características del edificio, pero tomando como referencia el edificio más complejo se debe disponer de lo siguiente:

- Brújula para la determinación de la orientación de las fachadas del edificio.
- Cinta métrica.
- Polímetro provisto de pinza amperimétrica.
- Cámara fotográfica convencional.
- Cámara termográfica.
- Analizador de redes.
- Analizador de humos.
- Barómetro diferencial.
- BlowerDoor. Test de infiltraciones.

- Luxómetro.

#### 3.3.4. Software de simulación térmica y lumínica

Además de los aparatos de medida que se han descrito anteriormente, es necesario disponer, para el desarrollo posterior, de un software de simulación térmica y lumínica.

Todo ello con el fin de hacer una estimación fiable tanto de los consumos actuales, como de los que se producirán en un futuro con la aplicación de las medidas que se propongan en las conclusiones de la auditoría energética.

#### **Software de simulación térmica**

Esta simulación será usada para calificar el edificio aplicando las herramientas reconocidas por la administración (CALENER-GT actualmente), si bien existen otros programas de simulación dinámica de reconocido prestigio y amplia difusión que pueden usarse con este mismo fin:

- ESP
- DesingBuilder
- Energy Plus
- TRNSSYS
- DOE2

De hecho el programa CALENER utiliza el DOE2 como motor de cálculo.

El análisis de los resultados permitirá identificar los focos de mayor consumo, y en consecuencia actuar sobre ellos para mejorar su eficiencia energética.

#### **Software de simulación de la iluminación**

En base a los planos de iluminación, deben establecerse los consumos de la iluminación haciendo suposiciones razonables acerca del tiempo en que las lámparas están en funcionamiento.

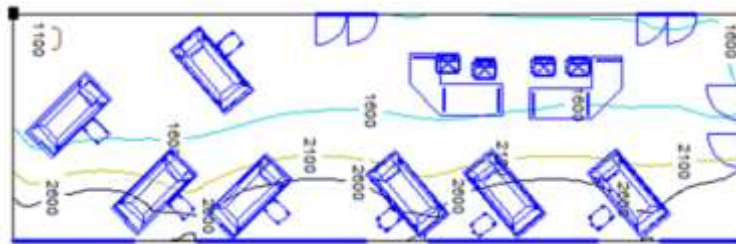
Este será un cálculo preliminar, ya que deberemos contrastar la realidad de la información con los datos tomados sobre terreno al inventariar los elementos de iluminación existentes.

Asimismo se deberá tomar medidas que nos den información acerca de:

- La capacidad de iluminación natural que tiene cada estancia.
- La capacidad de la iluminación artificial de suministrar la cantidad luz exigida por la norma, que irá en función del tipo de local.

Una vez hecho esto se comparará los consumos calculados con las facturas energéticas.

Es muy recomendable usar programas de simulación lumínica (DIALUX) que nos permitan obtener la distribución de la luz dentro de cada estancia, o al menos en las estancias críticas.



**Figura 21** Líneas Isolux en una de las salas con iluminación natural en un día despejado de verano.



**Figura 22** Imagen renderizada de la misma sala que la figura anterior.



# Capítulo 4. Ejecución de la auditoría. Toma de datos

## 4.1. Revisión de los componentes del edificio. Comparación con los planos

A pesar que la documentación recopilada antes de realizar la visita técnica al edificio nos ha servido para obtener algunos datos críticos del edificio, es importante contrastarlos sobre terreno con el fin de tener una gran fiabilidad en los cálculos y análisis que realizaremos posteriormente.

### 4.1.1. Situación del edificio. Entorno inmediato

El entorno inmediato del edificio influye sobre su comportamiento térmico, ya que los obstáculos que existan a su alrededor pueden ser pantallas tanto a la radiación solar (proyectan sombras sobre el edificio a determinadas horas del día), como a la incidencia del viento (limitaciones para la ventilación natural en verano y/o aumento de las pérdidas por convección en invierno).

Se deberán tomar los datos siguientes:

- Situación general del edificio: latitud, longitud y altitud.
- Orientación de las fachadas (mediante brújula).
- Área total de la planta del edificio.
- Altura del edificio.

Asimismo se deberán tomar los datos de los edificios u otros obstáculos (árboles, por ejemplo) del entorno inmediato:

- Forma del obstáculo y dimensiones (largo, ancho, alto).
- Distancia hasta el edificio objeto del estudio.

Para finalizar la comprobación de los planos se verificará que la distribución interior corresponde realmente con la reflejada en ellos. De no ser así deberá hacerse un levantamiento de la nueva distribución. A efectos prácticos esto es importante saberlo para presentar el presupuesto, ya que esta labor puede significar un tiempo muy importante, dependiendo del tamaño del edificio y de la cantidad de modificaciones que se hayan hecho.

Esto suele suceder en edificios históricos que se han rehabilitado para realizar actividades administrativas lo que supone una gran modificación de la distribución de espacios.

Cuando esto suceda la planificación de la auditoría debe contemplar todas estas labores, que son tediosas, ya que se debe medir la dimensión de cada una de las estancias así como la relación con el entorno interior y con el exterior.

Se debe compaginar este levantamiento con los inventarios del edificio (iluminación, aparatos y unidades terminales de climatización), con lo cual no es necesario realizar dos visitas al mismo lugar, con una vez se obtienen todos los datos que se necesitan.

#### 4.1.2. Composición de la envolvente: muros, cubierta, suelo, forjado y tabiques

Se revisará la composición de los cerramientos, intentando evitar la aplicación de técnicas invasivas (catas) que con mucha probabilidad no van a ser bien recibidas por la propiedad.

En caso que no exista otra opción para la determinación de la composición del cerramiento es conveniente que inmediatamente después de realizada la cata, se restablezca el cerramiento a su situación original reparando la cata.

Si la fiabilidad de los planos es elevada (podemos contrastarla con la dirección de obra que ejecutó el edificio) podemos medir el espesor de los cerramientos (muros, cubiertas, etc.) y comparar con los descritos en la documentación, lo cual será una garantía de la fiabilidad de los planos.

Lo más operativo es tomas termografías, mediante las cuales y con una pequeña preparación del edificio se puede conocer el coeficiente de conducción de los cerramientos.

Debemos tener las siguientes precauciones:

- Para que la termografía sea fiable es necesario mantener constante la temperatura interior del edificio, por lo que unas horas antes de realizar la termografía debe ponerse en marcha el sistema de

climatización con el fin de garantizar una temperatura constante (la cual debemos medir) en el interior del edificio.

- No podemos realizar una termografía sobre una fachada sobre la que este incidiendo la radiación solar. Debemos tomarla cuando esté en sombra.
- Tampoco podemos hacerla si está lloviendo, ya que el coeficiente de convección del agua es del orden de 100 veces mayor que el aire, por lo que podríamos sacar unas conclusiones únicamente válidas para las condiciones de lluvia. Lo que no es representativo de las condiciones normales del edificio.

Para una correcta toma de la imagen termográfica es necesario tener en consideración los siguientes aspectos:

- Sobre la fachada que se tome la fotografía no debe haber una incidencia solar directa. Es decir debe estar a la sombra o ser un día nublado.
- Debemos conocer la temperatura exterior e interior. Es conveniente mantener a temperatura constante la las estancias interiores mediante el uso del sistema de climatización.
- Es importante que exista una diferencia considerable entre la temperatura interior y exterior, si es posible mayor de 10°C. Con ello se consigue que se incremente los flujos energéticos, marcando de forma más evidente los defectos de aislamiento del edificio.

Se tomarán tantas termografías como sea necesario para cubrir toda la superficie envolvente del edificio. De este modo obtendremos, tras el procesado de los datos de la termografía, los valores del coeficiente de transmisión de los cerramientos. Pudiendo, de este modo alimentar, el programa de simulación energética de edificios por cualquiera de las vías: la composición del cerramiento o por el valor absoluto de la conductividad.

En la misma termografía se detectarán los puentes térmicos debidos a fallos en la colocación del aislamiento, lo cual será de utilidad para recomendar su corrección en las reformas propuestas.

#### 4.1.3. Características de las ventanas: marco, vidrio, elementos de sombreado.

Las características térmicas de las ventanas se determinarán por observaciones directas de las mismas, teniendo en consideración:

- La tipología del marco considerando:
  - Material (metálico con o sin rotura de puente térmico), PVC, madera).
  - Practicable o fijo (capacidad para generar corrientes de aire).
  - Hermeticidad cuando está cerrado.
- La tipología de vidrio:
  - Simple, doble,
  - Superficies especiales (absorbente, reflectante, bajo emisivo)
- El tipo de sombreado que dispone:
  - Interior o exterior.
  - Vertical u horizontal.
  - Fijo o móvil.
  - Vegetal o artificial.

Estos se pueden observar directamente por lo que no es necesario ningún tipo de medida adicional.

En todo caso sería necesario tener en consideración la medida de infiltraciones, que en caso que la carpintería sea de mala calidad pueden ser decisivas en la demanda de energía, sobre todo en calefacción.

Para la medida de infiltraciones existen una serie técnicas de distinta índole:

- La medida con gases traza.
- La medida con el sistema de blowing door.

El sistema de gases traza se descarta en la práctica habitual por dos razones:

- El sistema de medida es muy caro, ya que se trata de un sistema que analiza la concentración de un gas que no existe de forma natural en la atmósfera (gas traza).

- Los gases que se utilizan son nocivos para la salud, por lo que se usa más como experimentos de laboratorio, que como auditorías sobre edificios ocupados.

El sistema blowing door es usado más frecuentemente para la realización de test de infiltraciones. Este test consiste en aislar la zona en la que se quiere medir el nivel de infiltraciones.

Se sustituye una de las puertas que encierra esta zona por la blowing door. Esta puerta está dotada de un ventilador que una diferencia de presión entre el interior y exterior. Dado que el aire escapa por las rendijas de la zona que se ha aislado, para mantener esta diferencia de presión es necesario que el ventilador este generando un caudal, para lo que debe emplear una determinada potencia eléctrica.

La calibración del ventilador hace que se establezca una relación entre la potencia consumida por el ventilador y las infiltraciones que se producen en la zona analizada.

Este elemento es de gran utilidad para diagnosticar malos funcionamientos de los edificios. En la media que el clima es más frío este test puede indicarnos con gran precisión el ahorro que significaría la sustitución de la carpintería actual por otra de mayor hermeticidad.

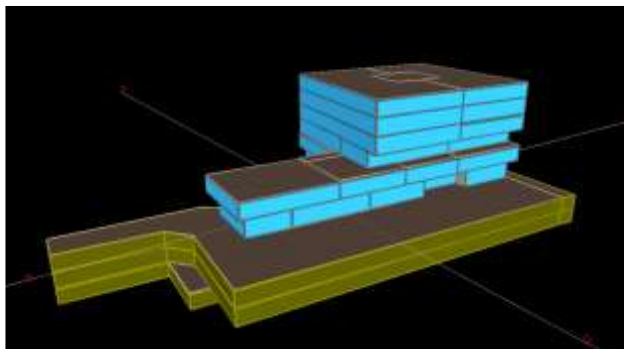
Del mismo modo definiríamos con mayor precisión en modelo térmica en el software de simulación térmica del edificio.

#### 4.1.4. Definición de un modelo térmico

Con la seguridad de las características constructivas del edificio se desarrollará el modelo térmico en el software de simulación de edificios.

Como iremos viendo a lo largo de este capítulo deberemos definir los distintos aspectos del edificio. En este apartado definiremos las características geométricas y constructivas del edificio.

El aspecto que tiene un edificio definido en CALENER-GT es el que se presenta en la siguiente figura:



**Figura 23 Definición del modelo térmico de un edificio en el CALENER-GT**

La parte geométrica requiere de las medidas del edificio así como de las zonas interiores del mismo. Además debe definirse la altura de cada una de las estancias (en general será la misma para todas las pertenecientes a una misma planta, salvo que existan dobles alturas, que es una situación bastante frecuente.

La definición constructiva consiste en la definición de los cerramientos: exteriores, interiores y en contacto con el terreno. Esta definición puede hacerse de dos maneras:

- Definiendo capa a capa la composición del cerramiento con los materiales que lo componen.
- Dando un valor global de conductividad del cerramiento.

Por otro lado se definen las ventanas situándolas en cerramientos exteriores mediante las siguientes características:

- Largo por ancho, calculando el área total.
- Características del marco (conductividad).
- Características del vidrio (conductividad y factor solar).
- Características de los elementos de sombra que existen sobre la ventana.

Con ello generamos la envolvente térmica y los paramentos interiores.

Una vez definidos quedan constituidas las diferentes zonas que componen el edificio. Estas zonas están caracterizadas por la tipología de cerramientos que las envuelven (paramentos exteriores, interiores y ventanas).

Por tanto con esta información tenemos definido el edificio desde el punto de vista geométrico y constructivo.

## 4.2. Inventario de los elementos consumidores del edificio

### 4.2.1. Características de los sistemas de climatización y ACS

Hasta este momento hemos estado hablando de las características constructivas del edificio, tanto desde el punto de diseño como de los materiales empleados en su construcción.

Difícilmente será posible reducir a cero la demanda del edificio a través de medidas de diseño, por lo que será necesario dotar al edificio de una serie de equipos para satisfacer la demanda del mismo que habrá sido drásticamente reducida mediante el uso de las técnicas explicadas hasta este momento.

Como hemos visto, la climatización es el aspecto que mayor porcentaje de consumo produce en los edificios.

Un sistema de climatización se denomina a aquel que es capaz de controlar la calidad del aire interior para que permanezca dentro de unos valores de confort razonables de los siguientes parámetros:

- ✓ Temperatura
- ✓ Humedad
- ✓ Calidad del aire (ausencia de sustancias contaminantes)

En consecuencia este sistema debe ser capaz de actuar sobre el aire interior para enfriarlo y calentarlo, filtrarlo y renovarlo introduciendo en el local interior aire procedente del exterior.

Cuando un sistema no sea capaz de realizar todas estas funciones hablaremos de una climatización parcial (como lo son, por ejemplo, los sistemas de calefacción).

En la Figura 24 se presenta un equipo de climatización completo.

Una primera consideración en aras de la eficiencia energética es que un equipo centralizado de climatización, en la mayoría de los casos, es mucho más eficiente, económico en inversión y rentable en explotación que pequeños equipos individuales.



La centralización de la generación de energía es una práctica habitual en los edificios no residenciales. En cambio en los residenciales (que además son los más abundantes) la tendencia es a tener pequeñas calderas o equipos de aire acondicionado en cada uno de los pisos. Esto hace que la potencia instalada en el edificio completo sea mucho más elevada de la realmente necesaria. El precio de los combustibles es más grande al no hacer grandes compras. La centralización abarata todos estos costes.

En cambio para que el sistema sea realmente eficiente es necesario que el pago de la energía consumida se realice de forma individual. Es decir la producción es centralizada, pero el consumo y costes se hacen de forma individualizada. De no ser así en no pocas ocasiones se producen situaciones de despilfarro que llevan al sistema centralizado a ser más costoso de lo que realmente debiera ser.

En un sistema de climatización pueden distinguirse dos partes claramente diferenciadas:

- Los elementos generadores que están marcados como frío, caldera y exterior, envueltos en un rectángulo rojo,
- Las unidades de tratamiento de aire (UTA), que están señalados en la figura envueltos en un rectángulo azul.

El ventilador C1 extrae el aire del local y lo hace recircular a través de una serie de pasos previos a su nueva impulsión en el local a climatizar. En primer lugar se produce una renovación con aire procedente del exterior, es decir, parte del aire procedente del local es expulsado al exterior, sustituyéndose por aire exterior (compuertas A y B). Este aire pasa a la cámara de mezcla (M) y posteriormente se filtra para eliminar polvo u otros elementos contaminantes<sup>5</sup>. Los pasos 4 y 5 son el acondicionamiento térmico del aire. Mediante enfriadoras o calderas el aire elevará o disminuirá la temperatura hasta los niveles deseados. En el punto 4 el aire pierde humedad, al producirse condensaciones por la baja temperatura. Por último el aire se llevará hasta el grado de humedad deseado en el punto 6.

---

<sup>5</sup> En función del tipo de local este filtrado será más o menos riguroso. Es fácil entender que los filtros de un quirófano serán tremendamente exigentes con la calidad del aire.

La eficiencia del proceso completo depende de todos y cada uno de los pasos, pero parece evidente que en los elementos generadores de energía es donde está el principal foco de consumo. Será necesario poner especial énfasis en ellos para aumentar la eficiencia del sistema completo.

A continuación hacemos un repaso de las principales tecnologías disponibles en el mercado para la generación de energía térmica con el fin de climatizar los edificios.

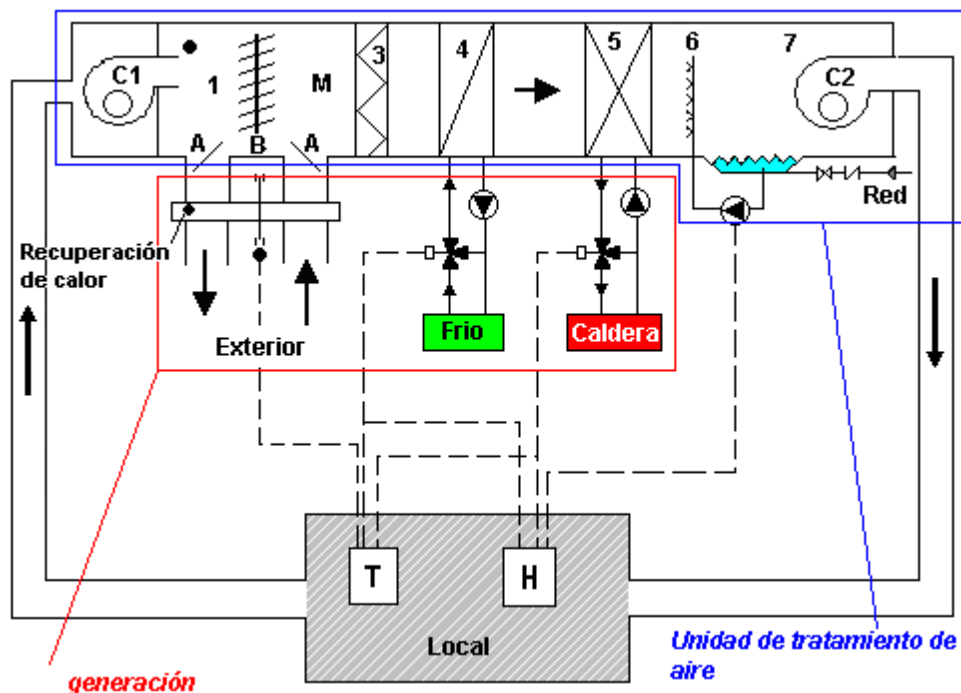


Figura 24 Sistema de climatización completo.

## Generadores de energía

Sobre estos sistemas debe ponerse especial interés ya que se puede disminuir de forma considerable el consumo energético del edificio aumentando la eficiencia de los mismos. Recordemos que el consumo es el cociente entre la demanda y la eficiencia de los equipos que la suministran.

En consecuencia deberemos conocer bien, no sólo las características técnicas de estos aparatos, sino también su estado de funcionamiento, por lo que será

necesario tener información de la empresa de mantenimiento acerca del estado de conservación de estos sistemas.

La transformación de la energía química de los combustibles en calor útil para satisfacer la demanda de energía se produce en las calderas. Distinguiremos dos partes esenciales dentro de las calderas: el cuerpo de caldera y el quemador.

El rendimiento de una caldera, de un modo natural, se define como la cantidad de energía útil que produce frente a la energía que podría producir teniendo como referencia el PCI del combustible que utiliza.

A efectos prácticos se mide el caudal de fluido (generalmente agua) que circula a través de la caldera y la diferencia de temperaturas que se produce entre el fluido de entrada y de salida, de tal modo que estamos en condiciones de evaluar la energía transferida al desde la caldera al fluido. Simultáneamente se mide la cantidad de combustible consumido, del que se conoce su PCI. El proceso se esquematiza en la Figura 25.

Por tanto, el rendimiento es:

$$\eta = \frac{mC_p - (T_s - T_e)}{M * PCI}$$

Donde es el caudal de fluido caloportador que circula a través de la caldera,  $M$  es la cantidad de combustible utilizado,  $T_e$  y  $T_s$  son, respectivamente las temperaturas de entrada y salida del fluido en la caldera,  $C_p$  es calor específico del fluido y PCI es el poder calorífico inferior del combustible.

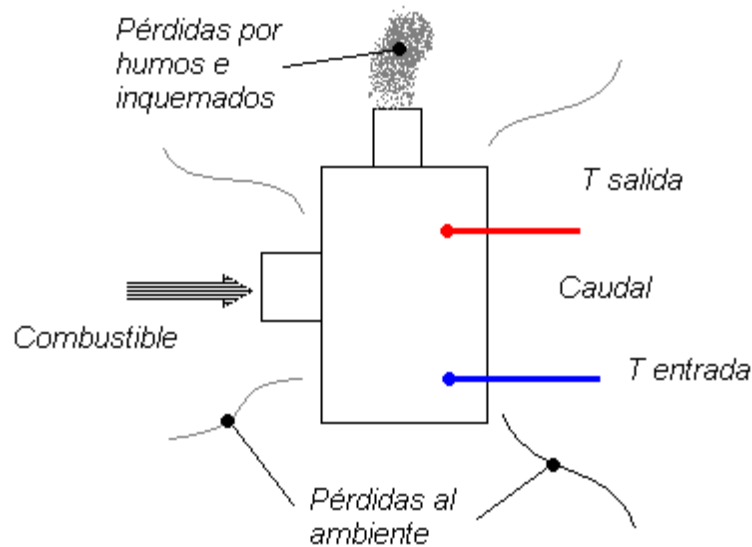


Figura 25 Medida del rendimiento instantáneo de una caldera

Salvo en el caso de las calderas de condensación, que más adelante veremos, el valor del rendimiento está por debajo de la unidad, y esto es así porque las calderas no son capaces de transferir toda la energía contenida en el combustible al fluido caloportador. Es decir, existen una serie de pérdidas térmicas que son inevitables:

- Pérdidas por convección y radiación al ambiente que rodea a la caldera, ya que este estará a menor temperatura que la caldera.
- Pérdidas por los humos, que suelen estar a una temperatura elevada.
- Pérdidas por combustible no quemado que se traducen en un aumento de la concentración de  $CO$  (monóxido de carbono) en los humos.

Estas pérdidas se producen de forma instantánea, es decir, en el momento que la caldera empieza a funcionar se dan todas ellas. Ahora bien, existen un cuarto grupo de pérdidas de energía que no se contemplan en un análisis de certificación o de laboratorio y que pueden ser muy importantes en el uso habitual de la caldera: las pérdidas por disposición de servicio. Estas se producen cuando la caldera no tiene una demanda continua de energía (el caso más claro es el de producción de agua caliente sanitaria) y que sin embargo, para autoprotección de la caldera, esta debe aumentar su temperatura interior para evitar condensaciones. En consecuencia la caldera consume combustible sin que ello suponga la

producción de energía útil. Durante los periodos de parada además se producen pérdidas por la circulación de aire en el interior del hogar y los pasos de humos que enfrían la caldera. Por otro lado en los arranques es el momento en que el volumen de no quemados es mayor.

Cuando se contempla este cuarto grupo de pérdidas hablaremos de rendimiento medio estacional frente al rendimiento instantáneo, definido anteriormente. Este rendimiento es menor que el instantáneo.

Para calcular el rendimiento estacional es necesario realizar un análisis de humos (o utilizar el que la empresa de mantenimiento haya hecho en la última revisión, si es reciente).

Para realizar el análisis de humos es necesario que la caldera esté funcionando a régimen, es decir, no podemos realizarlo con la caldera recién arrancada, tendremos que dejar que funcione al menos durante 20 a 30'. Después realizaremos la medida.

El analizador registra la concentración de  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $O_2$ , opacidad y algunos parámetros más que nos permitirán calcular el rendimiento estacional, de hecho algunos analizadores de humos estiman un valor para este parámetro.

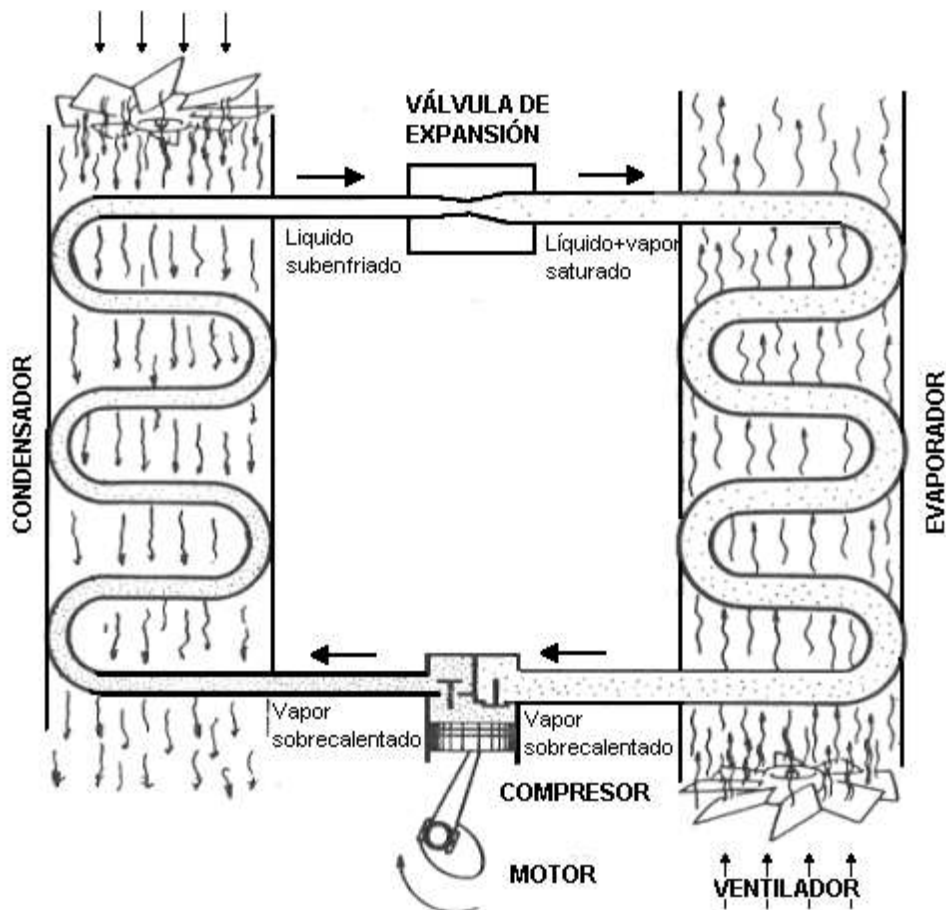


Figura 26 Esquema del funcionamiento de una bomba de calor.

Una máquina de refrigeración convencional contiene los siguientes elementos necesarios para realizar el ciclo frigorífico: Compresor, condensador, válvula de expansión y evaporador.

En la Figura 26 se esquematiza el funcionamiento de una bomba de calor, que producirá tanto calefacción como refrigeración, en función de la posición de la válvula que derivará los flujos fríos y calientes hacia el exterior o interior en función de la demanda del local.

La finalidad de la bomba de calor es enfriar un fluido (aire o agua) que de por sí ya está frío (en la parte del evaporador) y calentar un fluido que de por sí ya está caliente. La energía extraída al fluido frío se transfiere al fluido caliente. De ahí el nombre de bomba de calor, puesto que transfiere energía del foco frío al foco caliente, proceso inverso a la forma natural del flujo de energía.

Para ello (atendiendo al segundo principio de la termodinámica) es necesario realizar sobre el sistema un trabajo exterior. Este trabajo lo proporciona el motor del compresor.

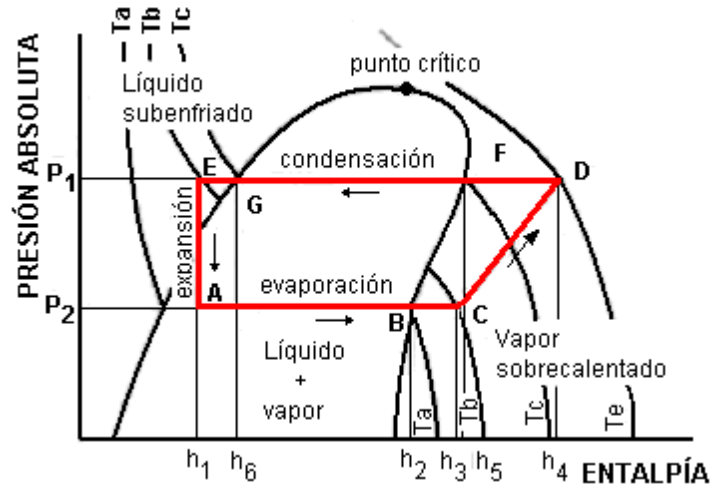


Figura 27 Ciclo termodinámico de la bomba de calor.

El fluido de trabajo es un freón (R12, R22, etc.) cuya propiedad fundamental es que el punto de ebullición y de condensación está a temperaturas próximas. En el compresor se aumenta la presión del fluido de forma adiabática, ya que no hay transferencia de calor, pero si existe una aumento de entalpía por el trabajo realizado en la compresión sobre el fluido (línea CD de la figura 27). Sin variar la presión se hace pasar el fluido en un medio más frío (condensador), lo que produce una transferencia de calor del fluido al medio, produciéndose la condensación del fluido de trabajo y el calentamiento del medio (línea DE). Este líquido sufre una expansión (disminución de presión, lo que hace que, en parte se evapore). Se hace pasar en un medio más caliente que lo cual hace que se produzca la evaporación completa del fluido de trabajo (línea AC), el cual tomara el calor necesario para este proceso del medio circundante, el cual se enfriará.

Hemos conseguido un calentar un medio en el condensador y enfriar otro en el evaporador, de tal modo que el calor extraído del medio en el evaporador lo hemos transferido al medio del condensador. Observando el diagrama, la temperatura del evaporador ( $T_a$ ), es menor que la temperatura del condensador

( $T_c$ ), y a pesar de ello hemos transferido la energía del evaporador al condensador, invirtiendo el flujo natural de la energía que es del foco caliente al foco frío.

En la Figura 27 se representa el ciclo termodinámico en un diagrama presión-entalpía. Señalado en rojo se aprecian los cuatro pasos de compresión, condensación, expansión y evaporación.

En función de la demanda de energía del local, calefacción o refrigeración, será el fluido caliente o el frío el que circule a través del local. Es decir una bomba de calor puede dar tanto calefacción como refrigeración.

El rendimiento de la bomba de calor (COP) presenta variaciones muy acusadas en función de la temperatura de suministro de entrada ( $T_a$ ) a la fase de evaporación<sup>6</sup> por ello en muchas instalaciones centralizadas con bombas de calor agua-aire o agua-agua se suele instalar una torre de refrigeración con el fin de mantener constante y próxima al punto óptimo, la temperatura de entrada al evaporador.

## **Combustible**

Debemos tener en consideración que tipo de combustible estamos utilizando ya que es un factor importante tanto en la eficiencia energética como en las emisiones de  $CO_2$  que provoca. Un valor añadido a la auditoría es proporcionar un sistema más respetuoso con el medioambiente mediante el uso de combustibles que no emitan  $CO_2$  (energía solar, por ejemplo) o que sean neutros (biomasa).

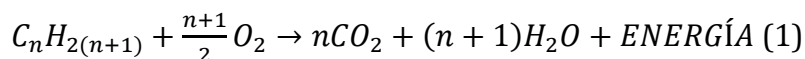
Para evaluar la cantidad de energía consumida hemos de conocer el PCI (poder calorífico inferior) de los combustibles,

---

<sup>6</sup> Un caso crítico lo presentan los equipos compactos o los multisplit que toman como foco frío en invierno y como foco caliente en verano el aire exterior. En invierno, si la temperatura exterior es muy baja (por debajo de los  $0^\circ C$ ) se produce escarcha, por lo que antes de comenzar a funcionar debe fundir el hielo. Esto hace que la electricidad que debiera usarse para la compresión se use como resistencia para efectuar el desescarche del equipo. En consecuencia la bomba de calor es adecuada para zonas donde la climatología es templada, siendo desaconsejable su uso en climas fríos.



La combustión de un hidrocarburo es una reacción química exotérmica, ya que la rotura del enlace entre el carbono e hidrógeno produce una gran cantidad de energía. En general, una molécula de hidrocarburo saturado tiene la forma  $C_nH_{2(n+1)}$ , y la reacción de combustión es la siguiente:



Al ser liberada esta cantidad de energía las  $(n + 1)$  moléculas de agua producidas absorben parte de esta energía y pasan a la fase de vapor.

Teniendo en cuenta estos procesos se conoce como poder calorífico superior (PCS) de un combustible a la cantidad de energía liberada por unidad de masa, es decir al término *ENERGÍA* que se expresa en la reacción (1).

Por otro lado se conoce como poder calorífico inferior (PCI) de un combustible a la energía liberada en la reacción de combustión, excepto la energía utilizada para pasar el agua, producto de la reacción, de la fase líquida a la fase vapor.

Una primera conclusión evidente es que  $PCS > PCI$  para cualquier combustible.

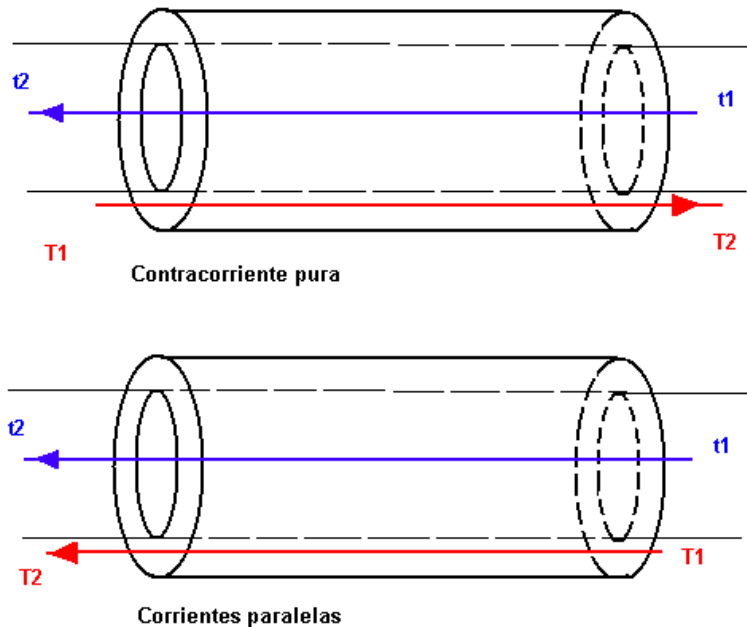
En la tabla siguiente se detalla el valor del PCI y del PCS para unos combustibles usuales, tanto en la industria como en el sector terciario (servicios y doméstico).

COMBUSTIBLE	PCI	PCS	Unidad
Gasóleo-C	10,28	10,89	KWh/l
GLP	12,86	13,97	KWh/kg
Gas natural	10,83	11,98	KWh/Nm <sup>3</sup>
Fuel-oil 1	11,01	11,61	KWh/kg
Fuel-oil 2	10,78	11,36	KWh/kg
Fuel-oil BIA	11,15	11,76	KWh/kg
Biomasa	4,5	-	KWh/kg

Tabla 11 Poder calorífico de algunos combustibles

## Intercambiadores de calor

A continuación hago un breve y sencillo repaso de la teoría de los intercambiadores de calor para poder entender mejor las características que deben cumplir estos para tener una alta eficiencia energética.



**Figura 28 Principio de funcionamiento de los intercambiadores de contracorriente pura y corrientes paralelas**

Una primera aproximación, de la que haremos uso en todos los desarrollos posteriores, será la de despreciar las pérdidas térmicas por convección y conducción desde el intercambiador hacia el ambiente exterior, aun siendo conscientes de que existen, pero como parece evidente son muy pequeñas si las comparamos con el intercambio de energía que se producirá entre el circuito primario y el secundario. Por tanto el error relativo que se comete es muy pequeño, y en cambio la sencillez que se gana en la obtención de las expresiones matemáticas es muy grande.

El proceso de intercambio térmico que se produce en el seno del intercambiador de calor viene regido por las dos leyes siguientes:

La ley de conservación de la energía:

$$Q = MC(T_1 - T_2) = mc(t_2 - t_1)$$

Donde  $M$  y  $C$  son, respectivamente, el flujo másico ( $Kg/s$ ) y el calor específico ( $J/KgK$ ) del fluido circulante en el circuito primario,  $T_1$  y  $T_2$  son las temperaturas de entrada y salida del circuito primario al intercambiador. Las letras minúsculas tienen el mismo significado que las mayúsculas, pero en el circuito secundario.

La ecuación anterior refleja el hecho de que, en ausencia de pérdidas hacia el ambiente por conducción, convección y radiación, la energía que cede el circuito primario ( $T_1 - T_2$ ) la gana el circuito secundario ( $t_2 - t_1$ ).

La segunda ley que se cumple en el intercambiador es la de Fourier, según la cual:

$$Q = UA\Delta T$$

Siendo  $U$  la conductividad térmica del intercambiador, que consideraremos constante en todo el rango de temperaturas que trabajamos,  $A$  el área de intercambio y  $\Delta T$  la diferencia de temperaturas entre el circuito primario y el secundario. Es evidente que esta variable será diferente en función del punto del intercambiador en donde nos encontremos.

### **Circuito de distribución. Conducciones y sus aislamientos**

Es importante observar en el transcurso de las visitas técnicas el nivel de aislamiento de las conducciones, tanto por la que circula aire como agua (frío o caliente).

Además del espesor es necesario observar el estado de mantenimiento del mismo, observando el grado de degradación que hay sufrido para aconsejar en las conclusiones su recambio

Este es un elemento de capital importancia para un aprovechamiento óptimo de la energía, tanto el almacenamiento como las conducciones y los diferentes elementos que componen la instalación deben aislarse adecuadamente para evitar pérdidas excesivas de energía desde el lugar donde se produce la generación hasta el punto de consumo.

Es inevitable perder parte del calor en el transporte desde el lugar de generación hasta el de consumo, pero el empleo de materiales aislantes en todo

este recorrido hace que estas pérdidas puedan asumirse ya que seguiremos manteniendo una eficiencia alta de la instalación en su conjunto.

Por otro lado la colocación del aislante supone un encarecimiento de la instalación, por tanto deberá optimizarse económicamente la cantidad de aislamiento en función del precio de la cantidad de combustible que sería necesario para compensar las pérdidas de calor que se producirían si no existiese este material.

Por tanto, por un lado tendremos las pérdidas por conducción que se producen en función del espesor del aislamiento, que para una conducción cilíndrica toma la forma:

$$Q = \frac{2\pi K(T_p - T_s)}{\ln\left(\frac{D_2}{D_1}\right)}$$

Siendo Q el flujo de energía que se pierde por conducción desde el fluido caloportador hasta la superficie exterior del aislamiento. K es la conductividad térmica del material empleado como aislante,  $T_p$  y  $T_s$  son la temperatura del fluido caloportador y de la superficie exterior del aislante respectivamente y  $D_2$  y  $D_1$  son los diámetros de la tubería (exterior) y del aislante respectivamente. De asume como hipótesis que la temperatura de la conducción es la misma que la del fluido que circula en su interior.

Es aconsejable proteger el aislamiento que discurra por el exterior, ya que estará expuesto a las condiciones ambientales y en consecuencia sometido a un envejecimiento acelerado. Por otro lado algunos materiales aislantes son higroscópicos (se empapan con el agua) por lo que si no se les recubre de una capa impermeable pierden sus propiedades aislantes para convertirse en buenos conductores calor debido a la presencia del agua.

Acabar las conducciones exteriores con un forro de aluminio suele solucionar estos problemas además de dar un acabado de calidad a la instalación.

### **Equilibrado del circuitos. Bombas y ventiladores.**

El problema del equilibrado del circuito hidráulico es un problema bastante común en las instalaciones de calefacción centralizada antiguas, siendo muy

común en comunidades de vecinos en edificios en altura, donde los pisos de las plantas más elevadas tienen un déficit de energía (pasan frío), mientras que los de las primeras plantas tienen un exceso de calor.

Esto se debe a un mal equilibrado del circuito hidráulico donde las pérdidas de carga hacen que el caudal de agua caliente no se distribuya de la misma manera en todos los pisos.

Esto lleva a ineficiencias energéticas, además de problemas de discomfort.

Debe averiguarse en el cuestionario entre los usuarios del edificio si se producen este tipo de situaciones de falta de calefacción/refrigeración en zonas concretas del edificio.

La corrección de estos problemas disminuirá de forma sensible el consumo energético además de proporcionar mayor calidad técnica a la instalación.

Una parte importante del consumo energético de un sistema de climatización en edificios de tamaño importante es el debido al transporte del fluido caloportador desde el lugar de generación hasta las unidades terminales. Este transporte se realiza mediante ventiladores y/o bombas.

En primer lugar estos sistemas deben estar adecuadamente dimensionados para cumplir con los caudales que deben suministrar para alcanzar el confort térmico en el edificio.

Se tomarán, de cada uno de estos elementos, los siguientes datos:

- Potencia nominal.
- Caudal máximo suministrado en función de la pérdida de carga que deben vencer.
- Rendimiento del elemento ( $W/m^3$ )

Se mediará la presión diferencial que proporcionan al fluido y la energía eléctrica que consumen para efectuarlo.

En bombas y/o ventiladores de potencia superiores a 1 kW se observará si tienen o no variador de frecuencia instalado.

## **Unidades terminales: Radiadores, UTAs, fan-coils, etc.**

Hasta este punto se ha realizado un análisis de los sistemas que sirven al edificio en su totalidad (sistemas generadores y de distribución).

Para conocer el sistema en su totalidad debemos realizar un inventario de las unidades terminales que proporcionan climatización a cada una de las zonas que componen el edificio:

- Radiadores
- Fan-coils
- Difusores
- Toberas
- Etc.

Por tanto se tomará nota, por cada una de las zonas de la siguiente información:

- Número de unidades terminales.
- Potencia de cada una de ellas.
- Tipología de la unidad terminal.

## **Control del sistema de clima: Sistema de generación y sistema de distribución.**

El control del sistema de clima es una de las características que mayor aportación hará para evitar despilfarros energéticos.

Debemos conocer el tipo de control del sistema de climatización a todos los niveles:

- Generación:
  - Arranque y parada de los generadores.
  - Modulación de la carga térmica.
  - Temperatura de suministro.
- Distribución:
  - Caudal (modulación de bombas y ventiladores)
- Control de la zona:

- Termostático
- Presencial
- Por temperatura exterior, etc.

El análisis del control irá encaminado a evitar consumos innecesarios, siempre garantizando el confort térmico en todas las estancias que lo requieran y cuando estén ocupadas.

Se desarrollará un diagrama de flujo del sistema de control, considerando las variables que mide y los mecanismos sobre los que actúa.

#### 4.2.2. Características de los sistemas de iluminación

##### **Tipología de las luminarias.**

Como se ha expresado anteriormente las luminarias se descomponen en tres partes: lámpara, óptica y equipamiento.

Deberemos caracterizarlas por las tres partes:

Tipología de lámpara. Se distinguirán para identificar la lámpara las siguientes características:

- Potencia.
- Tipología: Fluorescente, incandescente, fluorescente compacta (LFC), LED, haluros metálicos, descarga, etc.
- Rendimiento lumínico (*lumen/W*)

Óptica. Las tipologías de ópticas son tan variadas como fabricantes existen, pero se diferencian fundamentalmente en el tipo de superficies reflectantes que utilizan, desde ninguna hasta distribuciones sofisticadas de superficies reflectantes de aluminio para conseguir una distribución uniforme de la luz.

Equipo auxiliar: Se deben tomar las características de cada uno de los equipos que requiera la lámpara para su funcionamiento:

- Arrancador
- Balasto (electrónico o magnético)
- Etc.

Se identificarán en cada una de las zonas las diferentes tipologías de luminaria existentes realizando un inventario completo de todas ellas.

Además de esto es necesario ver si el sistema de iluminación está bien dimensionado por lo que se tomarán medidas directas de iluminación (mediante el uso de luxómetros) en los puntos críticos de cada una de las zonas que componen el edificio.

Se realizarán dos medidas:

- Durante un día despejado sin la iluminación artificial se medirá la capacidad de aprovechamiento de la luz natural.
- Durante la noche se medirá con todas las luminarias encendidas en los mismos puntos donde se tomó la medida de iluminación natural.

Con ello obtendremos la capacidad de iluminación natural que tiene el edificio y de este modo podemos dar directrices para su óptimo aprovechamiento.

### **Tipo de control: manual, presencia, nivel luminoso, etc.**

Se tomará nota del tipo de control de iluminación que existe en cada zona del edificio:

- Manual con capacidad de encender parcialmente las luminarias. En este caso sobre el esquema de la zona se marcarán las luminarias que se encienden en las diferentes fases.
- Automático por nivel de iluminación
- Automático por presencia
- Combinación de presencia y nivel de iluminación.

#### 4.2.3. Características del sistema ACS

### **Generador y combustible**

Lo que se ha comentado en el apartado correspondiente a climatización es de aplicación para el ACS en su parte de generación, combustible y distribución.

Únicamente presenta la característica especial de la acumulación.



## **Tipología: Instantánea o con acumulación**

La primera característica es distinguir si se trata de un sistema de generación de ACS instantáneo o de acumulación.

El sistema instantáneo produce el ACS en el momento que se demanda. Su caracteriza por disponer de altas potencias de caldera, ya que debe dar un salto térmico al agua en torno a los 50°C.

El sistema de producción de ACS se caracteriza por tener una menor potencia de generación, ya que parte de la energía necesaria para suministrar la carga punta de demanda de ACS está contenida en el agua caliente almacenada.

Debemos evaluar el estado del depósito de acumulación fundamentalmente en dos aspectos:

- Su nivel y estado de conservación del aislamiento.
- El estado de conservación del intercambiador de calor, ya sea externo o un serpentín interior.

Por último para comprobar la calidad de la instalación se evaluará la relación existente entre el volumen de acumulación y la potencia del generador (caldera).

### **4.2.4. Definición del modelo térmico en CALENER-GT**

Una vez se han tomado todas las características del sistema de clima, ACS, iluminación y equipamiento se introducirán en el software de simulación en el que se desarrollará el análisis térmico del edificio.

## **4.3. Uso y funcionamiento del edificio**

El último aspecto que hay que constatar en la auditoría es el modo de uso que tiene el edificio. Este dato es fundamental para poder acabar el modelo térmico que estamos confeccionando con el software de simulación seleccionado.

Para cada una de las zonas en que se ha dividido en edificio hay que establecer los siguientes datos:

- Número de ocupantes en la zona.

- Horarios de ocupación, obteniendo información sobre extremos tales como:
  - Si es usual que los ocupantes cumplan con el horario o si por el contrario es habitual que se use por encima o por debajo del horario.
  - Modos de uso de la iluminación, en cuanto si tienen o no cuidado con apagar las luces cuando no son necesarias, en salidas más o menos prolongadas, etc.
  - Modos de uso del equipamiento de la zona: ordenadores, electrodomésticos. Debe establecerse la potencia de cada uno de los equipos y el tiempo medio de uso diario.

Este es uno de los datos más ambiguos que se obtienen de la toma de datos, ya que es imposible reproducir con exactitud el modo de ocupación de cada una de las zonas, en consecuencia este dato será el que se modifique para cuadrar los consumos energéticos obtenidos de la simulación con los datos de las facturas de energía.

De este modo simularemos las cargas internas del edificio, dato que también es necesario para una correcta simulación del comportamiento térmico del edificio.

#### 4.4. Estimación de la distribución de los consumos

Una vez se dispone de todos estos datos acabaremos la definición del edificio en el programa de simulación.

Tomaremos la climatología de la base de datos del Ministerio, que se encuentra entre los documentos reconocidos para la certificación energética de edificios.

Con todos estos datos realizaremos la simulación donde se obtendrá una estimación de los consumos energéticos en:

- Climatización
- ACS
- Iluminación

– Equipos

En el caso del edificio politécnico de la UAH:



**Figura 29 Balance energético por tecnologías de la EPS**

Los datos que se obtengan del modelo de simulación se compararán con las facturas energéticas, en las cuales deberán estar reflejados todos los consumos energéticos del edificio.

Si la diferencia entre la simulación del edificio y las facturas energéticas difiere en más del 20% deberemos repasar los datos tomados con las estimaciones que se han hecho y averiguar dónde difiere de una manera más evidente de los cuatro aspectos que hemos considerado.

Revisaremos en primer lugar el modelo térmico para corroborar que esta adecuadamente definido, en caso que así sea se deberá revisar la toma de datos con el fin de comprobar que no se nos ha pasado ningún aspecto importante.

Corregiremos el modelo térmico hasta obtener un resultado con un error inferior al 20%. Cuando llegamos a este punto consideramos que nuestro modelo representa adecuadamente al edificio y por tanto estamos en condiciones de realizar las propuestas de modificación y obtener una comparación fiable de los ahorros obtenidos entre el caso base que es el edificio actual y las diferentes propuestas que realicemos.

Obtener simulaciones que cuadren con los datos de las facturas es prácticamente imposible ya que existe siempre una incertidumbre tanto de

características de los materiales (conductividad, espesor, etc.) como el modo de operación (uso de luces ya aparatos) y además de estos los datos meteorológicos que son datos medios que pueden no corresponder con los del periodo de facturación de la energía.

Todo ello hace que la tolerancia a los resultados sea considerable (en torno al 20% como hemos comentado anteriormente).

Podemos ser tolerantes con esta incertidumbre porque el objeto de la simulación es comparar los ahorros que se producirán al introducir mejoras en el edificio. Estas mejoras se van a definir sobre el modelo obtenido, para posteriormente compararlas sobre la simulación base.

En este sentido el error de base que arrastramos no lo será tanto cuando nuestro objetivo es conocer la diferencia de consumos entre modelos y no tanto el valor absoluto de energía consumida.

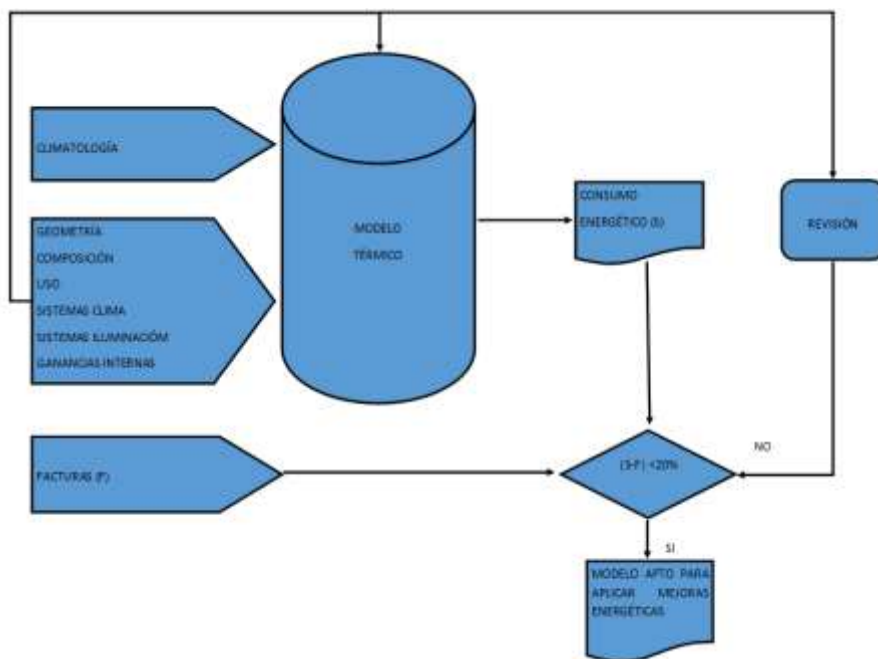


Figura 30 Proceso de definición térmica del edificio en el modelo de simulación.

Capítulo 5. Cálculo de la demanda  
energética mediante  
LIDER

El programa LIDER se trata de la herramienta informática desarrollada por AICIA - Grupo de Termotecnia E.S de Ingenieros Industriales de Sevilla, para la Dirección General de Arquitectura y Política de Vivienda del Ministerio de la Vivienda y el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) del Ministerio de Industria, Comercio y Turismo.

La aplicación de LIDER es la implementación informática de la opción general de verificación de la exigencia de limitación de demanda energética (HE 1), establecida en el documento básico de Ahorro de energía (HE) del Código Técnico de la Edificación.

Esta herramienta informática está diseñada para la descripción geométrica, constructiva y operacional de los edificios y para llevar a cabo la mayor parte de los cálculos recogidos en el documento básico referido anteriormente y la generación de la documentación administrativa pertinente.

La definición de los edificios es compatible con la requerida por el programa base de la Certificación energética de los edificios, CALENER, en todas las versiones existentes para edificios residenciales, pequeño y mediano terciario y gran terciario.

Al ser una herramienta de evaluación de la normativa, el programa LIDER genera de forma automática un edificio de referencia con las mismas características de forma, orientación y uso del edificio analizado, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir los requisitos prescriptivos del Código Técnico de la Edificación.

## 5.1. Evaluación de la demanda con el programa LIDER (Limitación de la Demanda Energética)

Como se mencionó en el párrafo anterior, se trata de la herramienta informática asociada a la implementación del Código Técnico de la Edificación. Este programa realiza una simulación de la demanda en base horaria y en régimen transitorio de transferencia de calor considerando todas las zonas que tiene el edificio.

Al ser una herramienta asociada al cumplimiento de la normativa en lo referente a la limitación de la demanda energética, centra el análisis en las características de la envolvente del edificio (cerramientos verticales, cubiertas, soleras, etc.). Los parámetros de confort para las diferentes épocas del año son prefijados por el programa, y los aportes internos derivados de la ocupación y los aparatos se establecen por valores de referencia previamente definidos de acuerdo a 2 tipos de uso (baja carga interna; residencial, y alta carga interna; el resto de usos).

El programa integra un conjunto de subprogramas y documentos para el cálculo de la demanda de los que vale la pena mencionar los siguientes:

- Una interfaz gráfica que permite realizar la definición geométrica y la definición formal del edificio.
- El motor de cálculo que contiene los algoritmos que permiten calcular la demanda del edificio como ya se explicó en base horaria y en régimen transitorio multizona y la compara con un edificio de referencia que crea automáticamente el programa y que no es otro que el mismo edificio definido pero con unas características que le permitiría cumplir como mínimo con las exigencias del Código Técnico de la Edificación.
- Las librerías o base de datos que facilitan al usuario la definición de los diferentes elementos constructivos del edificio (materiales, composición de cerramientos, acristalamientos, etc.).

### 5.1.1. Introducción de datos en el programa.

A partir de la información recopilada sobre el edificio Politécnico: planos de estado actual y diferentes verificaciones *in situ* y consultas a los encargados de mantenimiento y profesores de la escuela, se realiza la definición geométrica y definición de materiales de las diferentes soluciones constructivas.

Para realizar las verificaciones energéticas el programa requiere una serie de datos previos: zona climática, orientación, tipo de edificio, clase higrométrica y uso de los espacios habitables y renovaciones hora requeridos. Todos estos

parámetros están especificados y explicados en el CTE-HE 1 y se pueden consultar para la introducción en el programa.

### 5.1.2. Definición de materiales

#### **Elementos opacos**

Para la definición de cada uno de los elementos que conforman la envolvente del edificio (Muros exteriores, suelos, techos, cubiertas), se deben especificar las diferentes capas que conforman el cerramiento con sus materiales, grosores, características y transmitancias de cada una de ellas. El programa dispone de todos estos datos en las librerías adjuntas al programa. Haciendo una distinción entre elementos opacos y semitransparentes:

*El listado completo de materiales y sus características utilizados para el cálculo se pueden consultar en el anexo 2 de esta memoria en el informe de resultados del programa LIDER.*

#### **Elementos semitransparentes**

El caso de los elementos semitransparentes los datos a definir son los que vemos en la figura adjunta. Dentro de la base de datos del mismo programa, ya comentada en el apartado anterior, encontramos las opciones posibles para definir el marco, rotura de puente térmico, el tipo de vidrio, el % de hueco tapado por el marco y la permeabilidad de la ventana. Estos últimos dos datos se calculan, el primero por superficies de cada uno de los elementos y el segundo según la clasificación de la ventana en la UNE-EN 12207.

Una vez definidas las características de los materiales semitransparentes, se ubican en su posición en el edificio, y se procede a definir las características de uso de protecciones solares del edificio que afectan al factor solar sobre el vidrio y su transmitancia.

En el caso del factor solar aplicamos un corrector sobre los vidrios, al tener en cuenta que en verano todo el tiempo de asoleamiento directo estas se encuentran bajadas. El programa ya tiene en cuenta un 30% de reducción del



factor solar por defecto, pero nosotros queremos que aplique el 50% por tanto aplicamos la siguiente fórmula:

$$\text{Corrector} = 0,5 \times \frac{\text{Factor solar hueco}}{\text{Factor solar hueco} \times 0,7} = 0,70$$

Por otro lado la transmitancia térmica no le aplicamos corrector porque ya la hemos definido correctamente al definir el material y no hay elemento que pueda modificar la transmitancia.

También debemos definir las protecciones solares sobre las superficies acristaladas introduciendo las dimensiones y alturas de los aleros, las cuales son importantes tanto para invierno como para verano, porque varían la aportación de calor solar afectando en invierno al cálculo de demanda de calefacción y en verano al cálculo de demanda de refrigeración.

También existe la posibilidad de introducir protecciones de lamas y otras protecciones de las que no dispone el edificio objeto.

### 5.1.3. Definición de elementos constructivos

#### **Puentes térmicos**

El programa identifica de forma automática los puentes térmicos del proyecto y permite definir los valores de transmisión térmica lineal en cada caso: frentes de forjado, pilares, jambas, cerramientos en contacto con el terreno, esquinas, cubiertas....

#### **Sombras**

Esta es una herramienta de LIDER que nos permite representar las sombras que ejercen elementos del mismo edificio o incluso los edificios colindantes que dan sombra sobre el edificio objeto del estudio.

### 5.1.4. Cargas internas y climatización.

Como se ha mencionado, las cargas internas asociadas a los ocupantes y los aparatos que producen calor en el edificio, así como el sistema de

acondicionamiento de aire que el programa pre-supone atenderá la demanda, son valores fijos que no se pueden modificar por el usuario de LIDER.

En cuanto a los parámetros de confort de referencia, el programa considera como temperaturas de referencia para el período de invierno 20°C y para el de verano de 25°C.

Para las cargas por ventilación e infiltración a través de las ventanas, cálculo que afecta enormemente a las demandas de calefacción y refrigeración. En este caso como las carpinterías son existentes para poder estimar las renovaciones hora del volumen de las aulas a través de las ventanas hemos realizado es siguiente cálculo:

$$C = \mu S_h = C_v (\Delta p)^{0,65} S_h \left( \frac{m^3}{h} \right)$$

Siendo:

$C_v$  = Coeficiente característico de clase de ventana

$\Delta p$  = Diferencia de presión en  $Kp/m^2$

$S_h$  = Superficie total del hueco en  $m^2$

### 5.1.5. Metodología del cálculo

Una vez definido totalmente el edificio el programa calcula la demanda de acuerdo a la siguiente secuencia descrita por sus programadores.

“La respuesta global del edificio se calcula a partir de lo que se denomina respuestas unitarias, lo cual conlleva un proceso diferido que supone las siguientes etapas:

1. Cálculo de las ganancias o pérdidas de calor del edificio frente a cada una de las solicitudes exteriores (una a una), suponiendo que la temperatura interior es constante.
2. Cálculo de las ganancias o pérdidas de calor del edificio frente a cada una de las solicitudes exteriores (una a una), suponiendo que la temperatura interior es constante.

3. Cálculo de la respuesta del edificio en términos de carga térmica para cada una de las solicitudes unitarias (Funciones de transferencia) que caracterizan las ganancias o pérdidas instantáneas.
4. Cálculo de la carga térmica a temperatura constante, aplicando los resultados de la etapa tercera a las dos primeras.
5. Cálculo de la respuesta del edificio frente a una excitación unitaria de la temperatura interior.
6. Cálculo de la carga térmica a temperatura variable (aplicando los resultados de la etapa quinta a la cuarta) y teniendo en cuenta el comportamiento del equipo acondicionador.”

Los resultados que aporta el programa LIDER permiten valorar la demanda energética global de calefacción y refrigeración en términos de  $KWh/m^2$ , y establecer la comparación con el edificio de referencia que el programa crea de forma automática, y que como se ha explicado supone un edificio con las mismas características de forma, volumen, orientación y uso, pero con unas soluciones constructivas que le permitirían cumplir con las exigencias mínimas del Código Técnico de la Edificación. Esta valoración será de gran utilidad a la hora de evaluar las posibilidades de mejora de las edificaciones.

Los resultados de demanda energética también se presentan para cada zona definida en el edificio y para cada componente de la zona (paredes, suelos, ventanas, etc.) lo que permite identificar los elementos que pueden estar contribuyendo a elevar la demanda y valorar las posibles alternativas de mejora.



## Capítulo 6. Calificación energética mediante CALENER

En cuanto a la certificación energética de edificios terciarios, la legislación estatal propone una metodología de certificación basada en el software CALENER VyP para pequeño terciario y CALENER GT para gran terciario. Los dos programas han sido desarrollados por el Ministerio de Vivienda y por el IDAE, que encargó su elaboración al grupo de Termotecnia de la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía, AICIA, con la colaboración del Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, IETCC.

CALENER es una herramienta de calificación energética que evalúa el consumo de energía del edificio objeto de estudio, y lo califica en función de las emisiones de  $CO_2$  asociadas al tipo de combustible que emplee. Para ello analiza en primer lugar la demanda a atender en el edificio, y en segundo lugar, de acuerdo a los sistemas que se definan para atender dicha demanda y su rendimiento establece el consumo energético que supondrá mantener unas condiciones de confort determinadas. Para que el programa pueda calcular el consumo y las emisiones asociadas es necesario definir en detalle las características de los equipos, el diseño de la instalación (sectorización) y el nivel de control y regulación de cada local, lo que permite que el programa informe también del rendimiento medio estacional de los sistemas del edificio que para efectos de este trabajo es la información más relevante.

La versión GT de CALENER realiza la calificación de “Grandes edificios Terciarios”. Por tanto, nunca debe utilizarse esta versión para la calificación de ningún tipo de viviendas. Para decidir que edificios del sector no-residencial o terciario son grandes y cuáles pequeños y medianos debe basarse fundamentalmente en los tipos de sistemas (alcance) de los programas CALENER-VYP y CALENER-GT, por tanto se recomienda el uso de CALENERGT en aquellas situaciones en las que, debido al tipo de sistema que tiene el edificio, no pueda usarse CALENER-VYP o cualquier otra versión que se desarrolle en el futuro. En la siguiente figura se indican los componentes principales de CALENER GT.

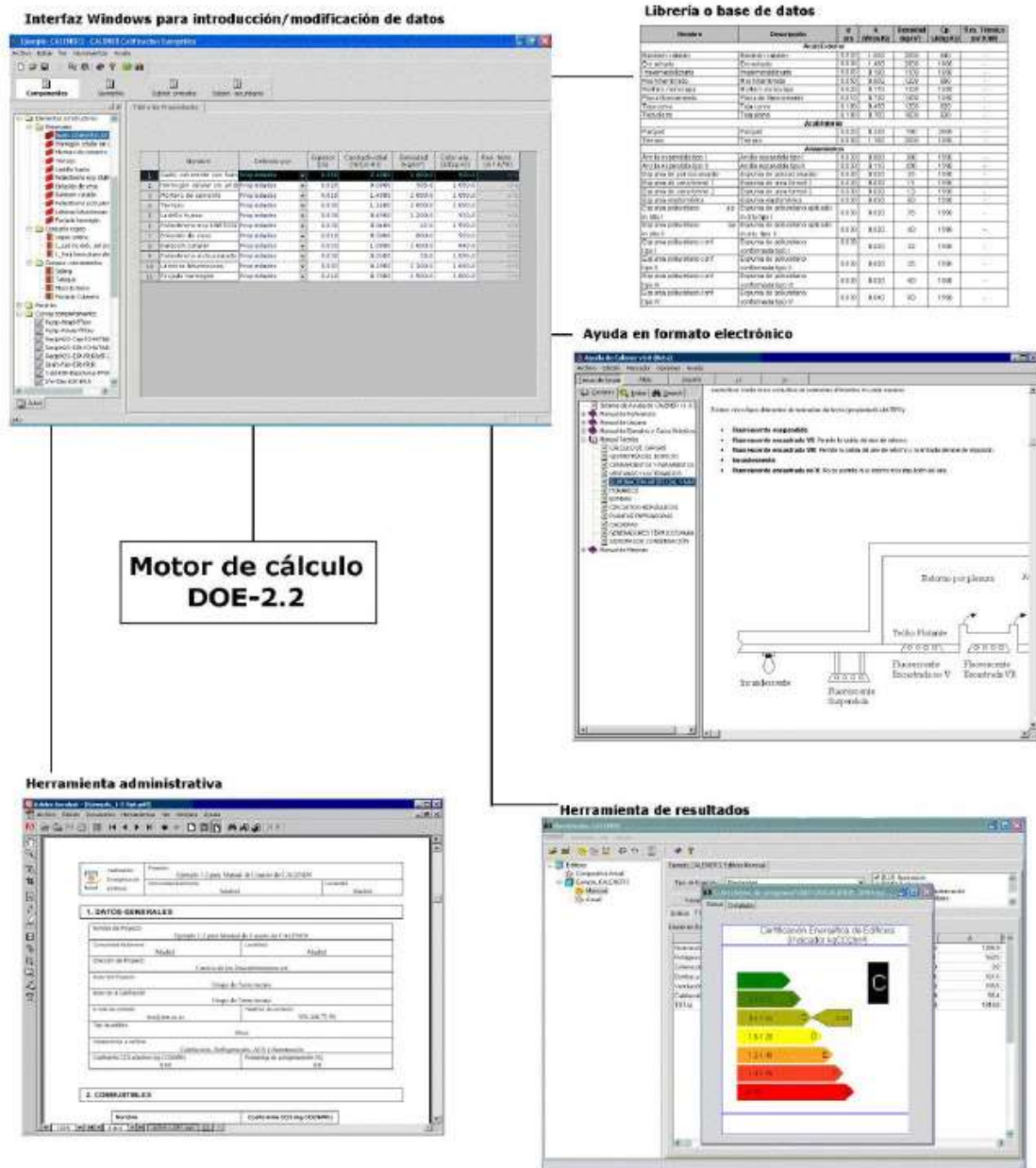


Figura 31 CALENER GT

## 6.1. Certificación energética con el programa CALENER

La certificación energética mediante la herramienta CALENER se establece a partir de unas ecuaciones que comparan el índice de calificación energética (C) para cada indicador energético, es decir, la relación entre el valor del indicador estimado para el edificio objeto y el valor del indicador correspondiente a edificio de referencia.

$$IEE = \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}}$$

En el caso de un cálculo energético de edificios existentes, el índice se debería obtener a través de datos reales de consumos, y a partir de ellos, de las emisiones correspondientes. Para los edificios existentes no podría utilizarse este sistema pero actualmente no existe ningún procedimiento de normalización, y no disponemos de otra escala para calificar el edificio. Pero de todas maneras en edificios existentes, como es el caso, el aspecto clave no es tanto la letra que alcanza en su situación actual, sino, hallar cuales son las posibilidades de mejora de su eficiencia energética.

El procedimiento completo para la obtención de las clases de eficiencia comprende las siguientes etapas:

1. Obtención de los indicadores energéticos correspondientes al edificio objeto,  $I_{objeto}$ , los que se obtienen mediante CALENER o cualquier procedimiento alternativo.
2. Obtención de los indicadores energéticos de referencia,  $I_{referencia}$ , que depende de cada localidad y se encuentran incorporadas en CALENER.
3. Obtención de los índices de eficiencia energética,

$$IEE = \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}}$$

4. Aplicación de los índices de dispersión  $R$ , se trata de la aplicación de los una serie de coeficientes de penalización establecidos, para cada instalación, para cada tipo de edificio y zona climática de verano e invierno.
5. Obtención de los índices de calificación

$$C = \left( \left( \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}} R \right) - \frac{1}{2}(R - 1) \right) + 0,6$$

6. Asignación de las clases de eficiencia asociadas a cada índice de la calificación

De esta manera se obtiene la clase energética de cada uno de los consumos calculados por CALENER, conociendo así la clase de cada instalación, pero no



corresponden a la clasificación global del edificio. Esta clasificación global se halla mediante las emisiones totales de la instalación, sumando todas las emisiones en  $KgCO_2/m^2$  calculados por el programa.

A continuación se detalla cómo se obtienen los valores de los límites entre clases para elaborar la etiqueta energética:

Para hallar la clasificación, depende principalmente como ya hemos visto, de la zona climática, que nos marca los índices de eficiencia energética, denominados IEE, marcando una demanda, un consumo y unas emisiones medias por  $m^2$  en el edificio de referencia.

Para los que nos basamos en los índices de calificación de edificios de pequeño terciario:

<b>Clase A</b>	$C < 0,40$
<b>Clase B</b>	$0,40 \leq C < 0,65$
<b>Clase C</b>	$0,65 \leq C < 1,00$
<b>Clase D</b>	$1,00 \leq C < 1,30$
<b>Clase E</b>	$1,30 \leq C < 1,60$
<b>Clase F</b>	$1,60 \leq C < 2,00$
<b>Clase G</b>	$C > 2,00$

**Tabla 12 Índices de calificación de edificios**

Sobre este baremo general hay que hallar los índices de calificación energética para nuestra zona climática. Esto simplemente se consigue aislando en la formula las variables que nos interesa conseguir.

$$IEE = \frac{I_{objeto}}{I_{referencia}} = \frac{(1 + (C - 0,6) \cdot 2(R - 1))}{R}$$

Sobre esta fórmula se aplica a cada índice de calificación, C, y los resultados obtenidos, una vez multiplicados por consumos o emisiones de referencia, detalladas anteriormente, da como resultado la calificación energética de los edificios.

## 6.2. Metodología de cálculo.

CALENER al igual que LIDER define de forma automática un edificio de referencia con el que compara las prestaciones del edificio objeto y determina la calificación energética.

Una vez que el usuario ha introducido el proyecto (geometría del edificio, materiales, sistemas de calefacción y aire acondicionado, agua caliente sanitaria e iluminación), CALENER califica energéticamente mediante los siguientes pasos:

1. Simulación horaria del edificio introducido por el usuario, "edificio objeto", para obtener su consumo de energía final.
2. Cálculo de las emisiones asociadas al edificio objeto, considerando todos los tipos de energía.
3. Definición del edificio de referencia. CALENER modifica el "edificio objeto" para crear el "edificio de referencia".
4. Simulación horaria del edificio de referencia para obtener el consumo.
5. Cálculo de las emisiones asociadas al edificio de referencia.
6. Finalmente la Calificación Energética se obtiene mediante la comparación entre las emisiones del edificio objeto y las del edificio de referencia.

Como ya hemos comentado, la calificación energética se realiza en porcentaje de mejora del edificio objeto respecto al de referencia.

## 6.3. Definición de sistemas y componentes del edificio.

Para la introducción de datos en CALENER, no se ha partido de cero, este programa es perfectamente compatible con LIDER, y se ha exportado toda la definición gráfica que se ha usado para el cálculo de eficiencia energética de la envolvente del edificio: definición volumétrica, orientación, emplazamiento, sombras, cerramientos, elementos constructivos, horas de uso y ocupación, renovaciones hora, iluminación, persianas, etc.

Una vez se han definido las características generales y el perfil de uso del edificio, se han de definir los sistemas previstos para atender la demanda

energética del edificio: demanda de ACS, unidades terminales, equipos, sistemas, y factores de corrección.

### 6.3.1. Demanda de ACS

El programa CALENER cuando se introduce este dato aplica un consumo por defecto, así que se ha de revisar según las características de cada edificio. Para calcular la demanda del edificio de ACS, se utilizan los varemos de consumos incluidos en el CTE DB-HE4.

### 6.3.2. Unidades terminales, Equipos, Sistemas y factores de corrección.

El programa CALENER permite la simulación de gran variedad de sistemas de refrigeración, calefacción y agua caliente sanitaria. Pero la ausencia de clasificación de las distintas soluciones obliga al usuario a realizar una selección de los componentes y con ellos puede modelarse el sistema que se necesita.

Para ello es necesario entender previamente la estructura de los objetos que se han de introducir en el programa. En este proceso cualquier instalación estará compuesta por un objeto que define el tipo de Sistema, este contiene uno o varios objetos que se definen como Equipos y Unidades Terminales.

El objeto sistema no es identificable a un objeto físico, es el que contiene la información sobre el control de los equipos que lo componen y en qué zonas actúan, lo podríamos llamar instalación global. En cambio, equipo y unidad Terminal si se puede identificar con un objeto físico de la instalación, para nuestro edificio serían:

Equipos: calderas y condensadoras.

Unidad Terminales: radiadores, unidades de impulsión de aire.

En el manual de usuario de CALENER se pueden consultar todas las combinaciones de sistemas, equipos y unidades terminales para introducir correctamente cualquier instalación en el programa.

## Unidades terminales

Primero se introducen esta serie de datos que corresponden a los elementos de emisión interiores tanto de calefacción como de refrigeración. Para su introducción hace falta conocer una serie de características de cada elemento.

### 1) Unidades de Agua Caliente

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan calefacción a un conjunto de zonas mediante unidades terminales de agua caliente. El sistema contiene una o más unidades terminales de agua caliente, cada una de estas unidades terminales apunta a una zona a la que abastece.

### 2) Unidades de impulsión de aire

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan refrigeración y/o calefacción a un conjunto de zonas mediante una red de conductos que impulsan aire para abastecer la demanda en diferentes zonas.

### 3) Unidad de expansión directa

Este objeto se utiliza para definir aquellos sistemas que proporcionan refrigeración y/o calefacción a un conjunto de zonas mediante unidades interiores en expansión directa conectadas a través de tuberías de refrigerante con una unidad exterior, comúnmente denominados "multisplit".

## Equipos

### 1) Caldera

Para la introducción de las calderas el programa CALENER ya cuenta con una base de datos por defecto de todos los tipos de calderas, de manera que no hace falta crearla y al importarla automáticamente se importan los factores de corrección de los equipos.

De esta manera los únicos datos que requerimos para la introducción de los equipos de calefacción es conocer su potencia, rendimiento y el tipo de energía que utiliza. Datos sencillos de conocer puesto que son máquinas y modelos todavía existentes en el mercado y hemos tenido acceso a todas las instalaciones de calefacción y ACS.

## 2) Expansión directa aire-aire bomba de calor

Para la introducción de las fan-coils el programa CALENER ya cuenta con una base de datos por defecto ya comentada anteriormente.

De esta manera los únicos datos que requerimos para la introducción del sistema en el programa, son las capacidades nominales de refrigeración y caloríficas, sus consumos, así como el caudal de impulsión.

Para hallar estos datos, se utilizó nuevamente, el listado facilitado por los servicios de mantenimiento, que en este caso solo nos sirvió para saber cuántas máquinas existían y su ubicación, ya que son unidades muy antiguas e imposibles de encontrar los datos en un catálogo. Para solventar este inconveniente se consultó las potencias de estos aparatos y se buscó uno en el mercado actual de igual potencia.

## 3) Unidad exterior de expansión directa

### **Sistemas**

Una vez se han introducido en el programa todas las unidades terminales y equipos de los que se compone la instalación en este apartado solo es necesario asignar en un mismo sistema una o varias unidades terminales a un equipo y a su vez asignarles una zona o varias zonas a las que abastecen.

### **Factores de corrección**

La simulación de los equipos se basa en el uso de funciones que suministran el comportamiento del equipo dependiendo de determinadas variables exteriores al mismo. Estas funciones de variación se suministran a los equipos a través de referencias llamadas factor de corrección que el programa incorpora vinculadas a cada equipo.



# Capítulo 7. Calificación energética mediante CE3X

Este programa es una de las herramientas simplificadas reconocidas por el Ministerio de Energía, Industria y Turismo para realización de certificaciones energéticas de edificaciones ya existentes de ámbito residencial, pequeño y gran terciario.

El software se fundamenta en la comparación del edificio objeto de la certificación y una base de datos que ha sido elaborada para cada una de las ciudades representativas de las zonas climáticas, con los resultados obtenidos a partir de realizar un gran número de simulaciones con CALENER. Cuando el usuario introduce los datos del edificio objeto, el programa parametriza dichas variables y las compara con las características de los casos recogidos en la base de datos.

De esta forma, el software busca las simulaciones con características más similares a las del edificio objeto e interpola respecto a ellas las demandas de calefacción y refrigeración, obteniendo así las demandas de calefacción y refrigeración del edificio objeto.

Tras realizar la descripción del edificio objeto, el programa caracteriza adimensionalmente los parámetros del edificio, para ser comparados con los de la base de datos (edificios calculados con CALENER y caracterizados adimensionalmente).

Si la certificación se está realizando para un edificio del sector terciario, el programa calcula según lo recogido en el apartado “Edificio de Referencia para programas alternativos a LIDER y CALENER” del “Documento de condiciones de aceptación de Programas Informáticos Alternativos” y según lo indicado en el Real Decreto 47/2007, el edificio de referencia, y a partir de él, mediante el mismo proceso calcula sus demandas energéticas asociadas.

Con las demandas y los rendimientos de las instalaciones se calculan los consumos necesarios para cubrir dichas demandas y mediante los coeficientes de paso de energía final a emisiones de  $CO_2$  se obtienen las emisiones de  $CO_2$  globales del edificio.

Con todos estos valores se calcula la calificación energética final según lo indicado en el Real Decreto 47/2007, desde su derogación según el RD 235/2013.



El proceso a seguir para obtener la certificación energética con este software es el siguiente:

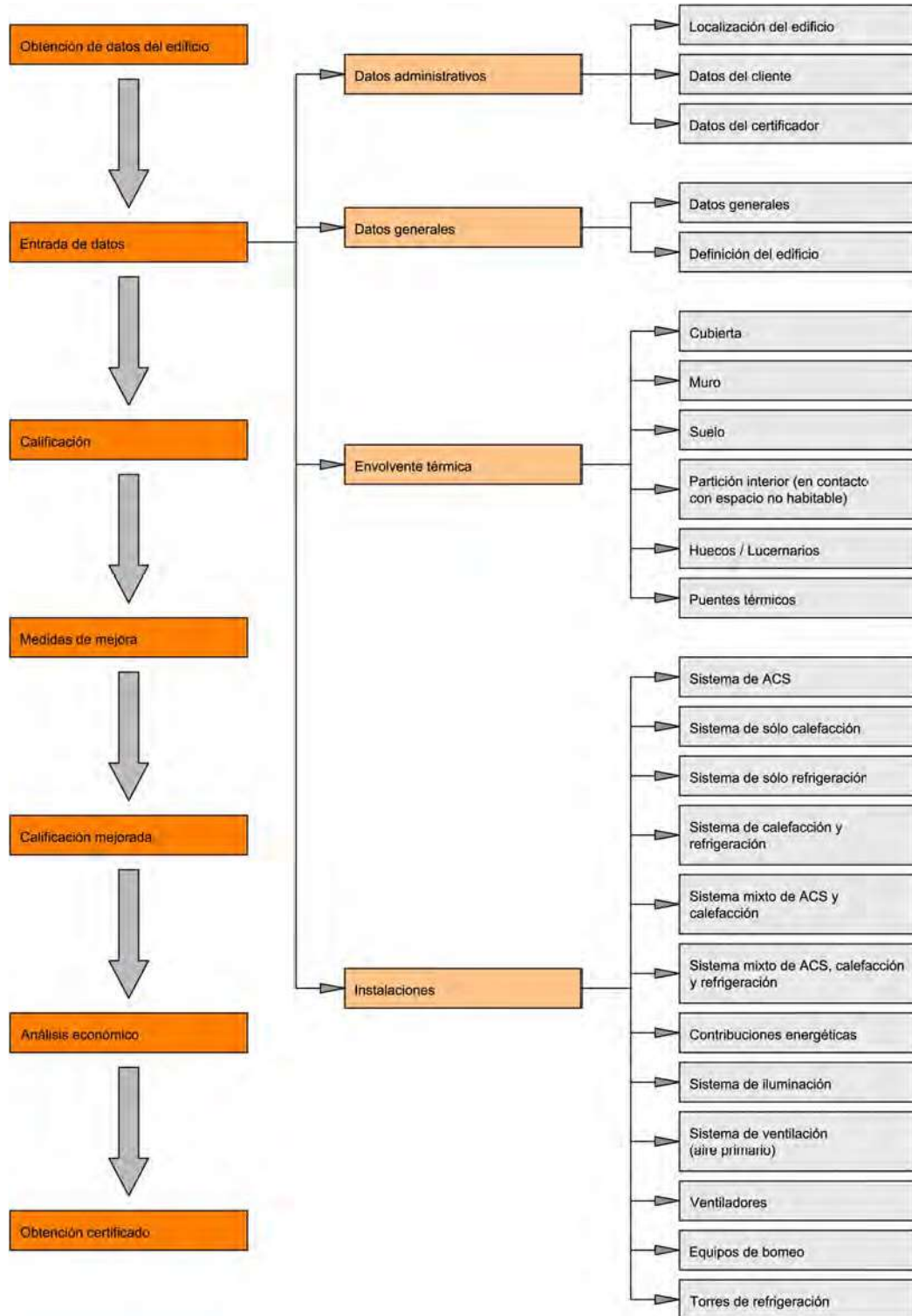


Figura 32 Proceso de cálculo de CE3X



## Capítulo 8. Propuestas de soluciones de Eficiencia Energética

Una vez conocemos todos los detalles que determinan el comportamiento térmico del edificio y obtenido el modelo del edificio actual estamos en disposición de aplicar a este modelo mejoras de eficiencia energética.

Dividiremos los análisis como lo hemos venido haciendo hasta el momento:

- Mejora en la envolvente térmica (elementos opacos y ventanas)
- Mejora en los sistemas de climatización y ACS.
- Mejora en el sistema de iluminación.
- Mejora de aparatos consumidores, si es de aplicación.

Cada una de las mejoras será analizada con el modelo de simulación térmica con el fin de estimar el ahorro que se produce por su implementación.

Se analizará, además, el coste de inversión para ejecutar las obras, y por último, comparando el valor de la energía ahorrada, y los costes de inversión necesarios se estimara la rentabilidad (viabilidad) económica de la medida.

## 8.1. Mejora de la envolvente térmica

### 8.1.1. Mejora del aislamiento en paramentos opacos

Una de las medidas que mayor potencial tiene en cuanto al ahorro de energía en los edificios es la colocación de aislamiento en los paramentos exteriores: muros, cubierta, suelo, etc.

El ahorro de energía es especialmente importante porque esta medida tiene una vida útil muy larga, tanto como el edificio mismo, por lo que el ahorro energético que se produce es muy importante.

Evidentemente cuanto mayor sea la conductividad de los cerramientos mayor ahorro se producirá por la colocación del aislamiento

Como se indicó anteriormente, en función de las características de ocupación del edificio (intermitencia del uso), será conveniente colocar el aislamiento por el interior o el exterior del edificio.

Si el edificio tiene una intermitencia alta será conveniente aislar por el interior, ahora bien, hay que tener especial cuidado en evitar los puentes térmicos.

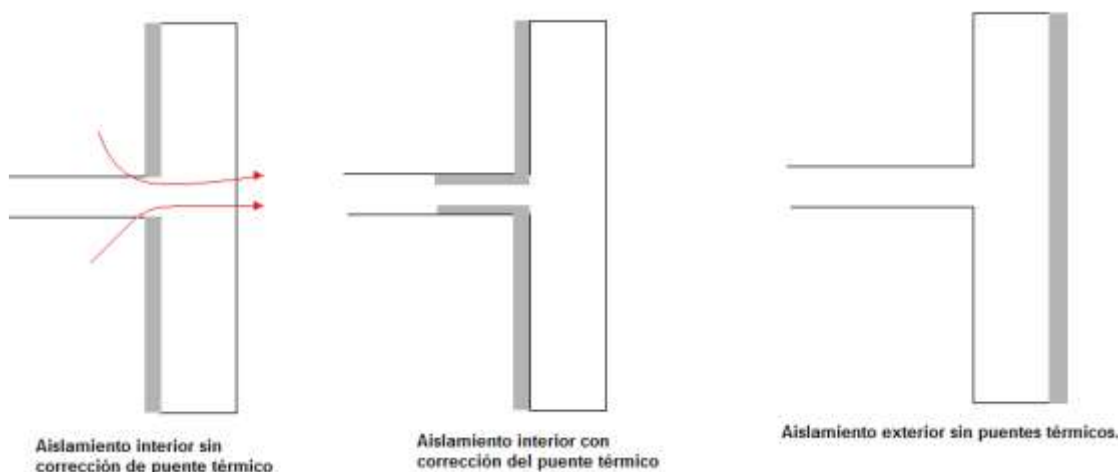


Figura 33 Diferentes modos de colocar el aislamiento en una rehabilitación del edificio

En el caso de rehabilitación, y siempre que esté permitido por la normativa urbanística, es recomendable aislar por fuera aun cuando la intermitencia del edificio sea elevada porque aislarla por dentro supone una serie de problemas de solución compleja:

- Dejaremos puentes térmicos y la corrección de los mismos implica obras importantes.
- Es necesario detener la actividad del edificio porque hay que actuar desde el interior.

En cambio aislando por el exterior todos estos problemas quedan resueltos sin necesidad de hacer ninguna intervención por el interior. Ambos casos quedan se aprecian en la siguiente figura.

Esta misma observación puede hacerse con la cubierta, donde será más efectivo aislar por el exterior que por el interior.

### 8.1.2. Mejora de las características de las ventanas: marcos y vidrios

Esta medida consiste en el cambio de vidrios y cambio de marcos.

La primera es, en la mayoría de los casos, interesante desde el punto de vista económico y energético, mientras que el cambio de marcos suele tener unos periodos de amortización muy altos, debido al elevado coste de estos elementos.

A pesar de ello es necesario destacar, que en fase de diseño si es una medida importante y que debe aplicarse, es decir se debe diseñar con marcos de calidad frente a marcos con una alta conductividad (metálicos).

Por tanto la prescripción en diseño de marcos de madera, PVC, o metálicos pero con rotura de puente térmico es conveniente.

La no conveniencia económica se debe a que en reforma se debe añadir al coste íntegro de la ventana de calidad (que es elevado) el coste de retirar la ventana antigua más la colocación de la nueva.

En cambio, en obra nueva, el coste real de la ventana de calidad es únicamente la diferencia de precios entre ambas ventanas, ya que el resto de costes (colocación) es idéntico en ambo casos.

Las ventanas de PVC o madera tienen un coste ligeramente superior a las metálicas con rotura de puente térmico, y presentan unas características térmicas mejores. Las de madera tienen el inconveniente que requieren de un alto

mantenimiento (lijado, pintado, etc.) mientras que las otras dos apenas requieren ningún tipo de mantenimiento.

El cambio de los vidrios será tanto más interesante en función de la superficie de los vidrios. Existen muchos edificios (sobre todo del sector terciario) que tienen grandes superficies vidriadas (muro cortina). En este tipo de edificios el cambio del vidrio por otros de menor coeficiente de conducción y con mejores propiedades ópticas para evitar ganancias solares mejora sensiblemente la demanda energética del edificio.

### **Tipos de vidrio.**

Diferentes tecnologías en vidrios ofrecen una variedad de sistemas de mejora del comportamiento térmico de estos en función de las necesidades térmicas y de iluminación natural, planteándose la elección del tipo de vidrio en función de la orientación y necesidades.

Dentro del mercado existente, algunas de las opciones de selección de vidrios son las siguientes:

- Acristalamientos múltiples. Se trata de un conjunto formado por dos o más lunas, separadas entre sí por cámaras de aire deshidratado, de distintos espesores, constituyendo un excelente aislante térmico y acústico, que limitan las pérdidas de calor al exterior.
- Vidrios absorbentes. Limitan la ganancia solar mediante variación del factor de absorción energética. Ajustan transmisión luminosa alta con transmisión energética baja.
- Vidrios reflectantes. Limitan la ganancia solar y la transmisión luminosa mediante tratamientos superficiales reflectantes.
- Vidrios de baja emisividad. Limitan la radiación de onda larga al exterior mediante tratamientos superficiales. Especialmente concebidos para maximizar las ganancias solares y minimizar las pérdidas de calor en los espacios objeto de acondicionamiento. Adecuados para climas con temperaturas exteriores inferiores a las de confort.

- Vidrios selectivos con los espectros de radiación (vidrios inteligentes). Son transparentes a una determinada zona espectral de la radiación, con control externo (vidrios electrocrómicos) o automático (fotocrómicos y termocrómicos). Se trata de vidrios susceptibles de modular la ganancia solar y la transmisión luminosa en función de variaciones de temperatura y de luminosidad.

La adecuación de los diferentes tipos de vidrios para condiciones climáticas y diferentes orientaciones se refleja en la siguiente tabla:

TIPO DE VIDRIO	CLIMA	ORIENTACIÓN
Acristalamientos múltiples	Frío y templado. Combinación de periodo infra calentado y periodo sobrecalentado.	Todos
Vidrios absorbentes	Cálido. Temperaturas exteriores superiores a las de confort.	Orientaciones de ganancia solar
Vidrios reflectantes	Todos. Temperaturas exteriores superiores a las de confort y orientaciones en las que existen problemas de deslumbramiento.	Orientaciones con ángulo de radiación solar incidente bajo (Este y Oeste).
Vidrios de baja emisividad	Frío. Temperaturas exteriores muy frías sensiblemente inferiores a las de confort.	Todos
Vidrios selectivos con los espectros de radiación	Todos	Todos

**Tabla 13 Tipos de vidrio y recomendaciones de uso**

### 8.1.3. Colocación/modificación de sistemas de sombreado

En climatologías intermedias es necesario considerar que durante el invierno es conveniente captar la mayor cantidad de energía solar con el fin de reducir la demanda de energía, mientras que en verano debe evitarse la ganancia solar para no producir sobrecalentamientos.

Por tanto es conveniente sombrear durante el verano, evitando esta sombra en invierno.



## Técnicas de sombreado

En función de la orientación el tipo de sombreado debe variar debido a la trayectoria solar, en verano y en invierno.

- Ventanas orientadas al sur

En esta fachada se recibe la radiación solar durante todo el año, de tal modo que la inclinación de los rayos solares es baja en invierno y alta en verano. En esta orientación el área vidriada debe ser elevada para captar la radiación solar, pero simultáneamente debe estar bien protegida para evitar los sobrecalentamientos durante el verano.

El sombreadamiento efectivo debe ser horizontal y en caso de ser un voladizo fijo debe dimensionarse adecuadamente para no interceptar la radiación solar durante el invierno.



**Figura 34 Voladizo para protección solar de superficies vidriadas**

- Ventanas orientadas al Este

En esta orientación los rayos de sol penetran de forma perpendicular a la ventana, por lo que la incidencia del sol es elevada. Deben por tanto protegerse durante el verano. Esta orientación no presenta excesivos problemas de sobrecalentamiento durante el verano debido a que la ganancia solar se produce a primera hora de la mañana cuando las temperaturas exteriores son suaves y el edificio ha estado perdiendo energía durante la noche. En consecuencia los huecos

en esta orientación pueden ser de tamaño menor que a Norte pero superior al sur. El tipo de protección solar será vertical con el fin de evitar la ganancia solar.



**Figura 35 Lamas para interceptar la radiación solar con ángulos de incidencia bajos**

– Ventanas orientadas al Oeste

El comportamiento del movimiento solar es simétrico con respecto a las orientaciones este y oeste. En consecuencia lo que hemos comentado en el apartado anterior es válido para este sin más que cambiar el mañana por la tarde. Es decir esta orientación está en sombra hasta el mediodía solar y recibe la radiación a partir de este momento, siendo más perpendiculares los rayos solares a la ventana a medida que se acerca el ocaso.

A diferencia de la orientación este, durante el verano, el momento en que la radiación incide de forma más considerable coincide con el de mayor temperatura exterior, por lo que en esta orientación se pueden producir importantes sobrecalentamientos.

Lo más recomendable es que esta fachada tuviese los huecos mínimos imprescindibles para producir iluminación natural y cierta capacidad de ventilación natural, si bien este tipo de ventilación no se empleará en este tipo de edificio al estar dotado de ventilación mecánica.

– Ventanas orientadas al Norte

En este caso no incide el sol de forma directa, salvo unas pocas horas al amanecer y el atardecer durante el verano, por lo que los huecos servirán como elementos de iluminación natural y no como elementos de ganancia solar, en consecuencia no es necesario ningún sombreado para las ventanas en esta orientación.

Las dimensiones serán las mínimas necesarias para mantener una buena calidad de la iluminación y así evitar pérdidas energéticas por conducción.

## Definición de los sistemas de sombreado

TIPO	CARACTERÍSTICAS	ORIENTACIÓN
VOLADIZO MACIZO	El aire caliente queda retenido en el área de la ventana.  Disminuye la iluminación indirecta	Sur
LAMAS FIJAS PARALELAS A CERRAMIENTO	Permite la circulación vertical del aire y limita la retención de aire caliente en el sistema ventana	Sur
LAMAS PERPENDICULARES A CERRAMIENTO. FIJAS	Permiten circulación vertical de aire caliente  Impiden el acceso a rayos de sol laterales	Sudeste  Sudoeste
LAMAS HORIZONTALES FIJAS EN PLANO VERTICAL	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja	Este  Oeste
PROTECCIÓN SÓLIDA EN PLANO VERTICAL	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja  Disminuye la iluminación indirecta	Este  Oeste
LAMAS VERTICALES FIJAS EN PLANO PERPENDICULAR A FACHADA	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja.  Permiten regular la iluminación natural.  Implican sistema de regulación continuo	Este  Oeste
LAMAS HORIZONTALES REGULABLES EN PLANO VERTICAL	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja.  Crean zonas críticas de sombra total	Este  Oeste

LAMAS VERTICALES FIJAS EN PLANO INCLINADO CON FACHADA	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja.  Crean zonas críticas de sombras desiguales	Este  Oeste
LAMAS VERTICALES REGULABLES	Adecuadas para orientaciones en que la trayectoria solar sea muy baja.  Permiten regular la iluminación natural, pero implican sistema de regulación continuo	Este  Oeste
CELOSÍAS	Adecuadas para climas cálidos. Pueden impedir la radiación solar en invierno	Sudeste  Sudoeste

Tabla 14 Sistemas de sombreado

## 8.2. Mejora del sistema de climatización

Para disminuir el consumo energético en los sistemas de climatización abordaremos las tres partes del sistema: Generación, circuito de distribución y unidades terminales.

### 8.2.1. Generación

El objetivo es aumentar el rendimiento medio estacional de las calderas. Existen dos modos de conseguir este objetivo:

- Cambio de tecnología.
- Mejora del mantenimiento.

Debe quedar claro que el mantenimiento es una condición necesaria aunque se cambie de tecnología.

### Tecnologías de caldera

Las tecnologías de caldera que existen en la actualidad se diferencian básicamente por la reducción de las pérdidas de disposición de servicio, si bien también reducen el resto de las pérdidas que analizamos anteriormente.

Asimismo también podemos hacer una distinción entre tecnología de caldera según la forma de tomar el aire ambiente para producir la combustión: atmosféricas y estancas.

Las calderas atmosféricas toman el aire de su entorno inmediato, es decir del aire de la habitación en que están instaladas. En consecuencia debe cumplir unos requisitos mínimos en cuanto a volumen de aire mínimo así como la ventilación de la zona. Desde el 1 de enero de 2010 está prohibida su instalación.

Las calderas estancas toman en aire para realizar la combustión del exterior, no teniendo por tanto ningún requisito en cuanto a las dimensiones del local donde se instalen, aunque sí para la ventilación con el fin de evitar accidentes por escape de gases, por ejemplo.

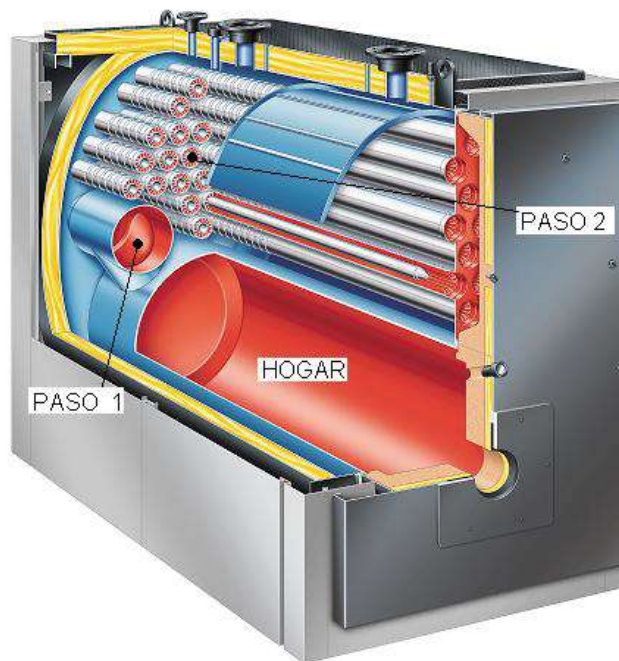


Figura 36 Vista interior de una caldera piro tubular. (Catalogo Viessmann)

En esencia una caldera es una estructura metálica (véase la figura anterior) en la que se distinguen dos partes que no permiten el paso de materia pero si de energía (“membrana diatérmica”), por una de ellas circula el humo caliente producto de la combustión (pintada en rojo en la figura) y por la otra circula el fluido calo portador (pintada en azul en la figura) que posteriormente distribuirá la energía al lugar de consumo.

La parte por la que circula el humo se subdivide a su vez en dos partes:

El hogar, donde se instala el quemador y se produce la combustión. Se realiza el primer intercambio térmico entre el fluido calo portador y los humos.

Los pasos de humos en donde se completa la transferencia de energía entre el fluido calo portador y los humos.

La superficie de intercambio entre el fluido calo portador y los productos de la combustión (PDC en adelante), que es la forma técnica de llamar a los humos, es metálica (usualmente de fundición o de acero) por lo que el coeficiente de conducción es muy elevado.

Es evidente que la temperatura que alcanzará la superficie metálica de intercambio de calor será función de las temperaturas de las dos partes de la caldera, es decir de los PDC y del fluido calo portador. La temperatura de la superficie metálica en contacto con los PDC, salvo en las calderas de condensación, no debe ser inferior a la temperatura de punto de rocío de estos gases, ya que en caso contrario el agua presente en forma de vapor condensaría en el interior de la caldera. Esto no significa un problema en el hogar y en el primer paso de los PDC, ya que las temperaturas son muy elevadas, pero en el segundo paso los PDC ya están fríos y existen grandes posibilidades de que se produzca la condensación.

Dado que en los combustibles existen una gran cantidad de impurezas (no todo el contenido son hidrocarburos), sobre todo azufre, y que en el hogar no se mezcla solo el oxígeno con el combustible, sino aire que tiene cerca de un 70% de nitrógeno, la reacción que expresábamos en (1) no es tan perfecta, sino que como productos se forman también  $SO_2$  y  $NO_x$  que al mezclarse con el agua forma ácidos (sulfúrico y nítrico o nitroso). Si esta reacción se produce dentro de la caldera (condensación del agua en los pasos de PDC) se produce una importante corrosión de la misma que acortará la vida de la caldera de forma espectacular. En consecuencia debe evitarse la condensación del agua presente en los PDC.

Se distinguen tres tipos de caldera, reconocidos oficialmente en el reglamento de instalaciones térmicas en los edificios (RITE): estándar, baja temperatura y condensación.

En la siguiente figura se representan las curvas de rendimiento mínimo exigido a los diferentes tipos de calderas a potencia nominal y con carga parcial.

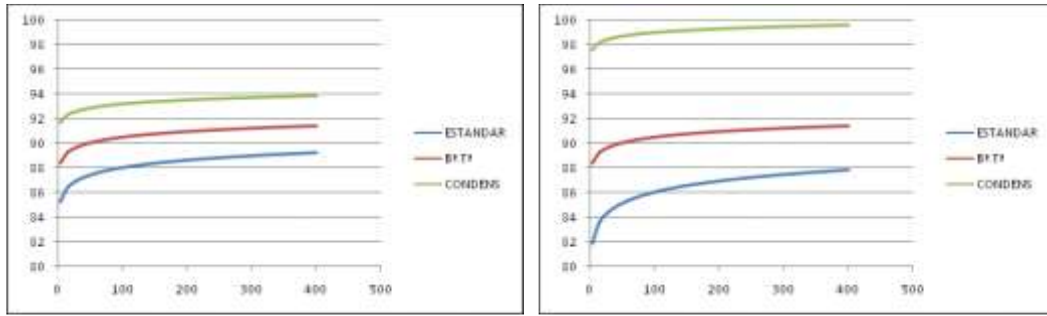


Figura 37 Rendimiento mínimo exigido a las diferentes tecnologías de caldera

### 1) Calderas estándar

Este tipo de calderas evita las condensaciones interiores manteniendo la temperatura interior del fluido calo portador por encima del punto de rocío de los PDC. Es decir lleva incorporado un sistema de control que no permite bajar la temperatura interior de la caldera de una determinada referencia.

Dado que el contenido de agua de las calderas estándar no es muy grande y si pueden serlo los caudales que circulan a través de ella, para compensar la temperatura de entrada del fluido calo portador a la caldera la temperatura interior de esta debe ser superior a la temperatura de rocío. Usualmente se suele establecer como referencia la temperatura interior entre 80 y 90°C.

Al tener como temperatura de referencia interior un valor elevado, cuando la caldera tiene periodos de inactividad prolongados (caso de temporadas intermedias de calefacción o para la producción de ACS) la temperatura interior de la misma, por conducción, convección y radiación pierde energía y baja su temperatura. Cuando el valor de la temperatura es inferior a la de referencia la caldera arranca el quemador por protección de sí misma, aunque no existe una demanda de energía real.

Asimismo, durante estos periodos de parada, las pérdidas por convección y radiación se siguen produciendo, pérdidas que será necesario compensar cuando arranque el quemador.

La necesidad de mantener la temperatura interior de la caldera dentro de los rangos establecidos hace que en calderas de potencia elevada sea necesaria la instalación de una bomba de recirculación cuyo único fin es hacer pasar un

pequeño volumen de agua (el que contiene la caldera más el del circuito que cierra la bomba de recirculación) con el fin de aumentar la temperatura antes de hacer pasar el agua de retorno del circuito primario por el interior de la caldera.

## 2) Calderas de baja temperatura

Estas calderas suponen un avance tecnológico importante, ya que este tipo de calderas permiten temperaturas interiores inferiores a la temperatura de punto de rocío del combustible.

Una de las tecnologías empleadas para que la temperatura interior de la caldera pueda ser inferior a la de rocío consiste en emplear para los pasos de PDC tubos de acero dobles. De esta manera se genera una cámara de aire aislante que aun cuando la superficie metálica en contacto con el fluido calo portador esté a una temperatura inferior a la de rocío, la superficie que está en contacto con los PDC tiene una temperatura superior a ésta. Una comparación ilustrativa es lo que sucede en una ventana con el uso de vidrio simple. Cuando la temperatura exterior es fría el vidrio tiene una baja temperatura, que al entrar en contacto con el ambiente interior cálido y húmedo produce la condensación del agua del ambiente. Si por el contrario se emplea vidrio doble el salto la temperatura del vidrio en contacto con las condiciones interiores es lo suficientemente elevada para que no se produzcan condensaciones, es decir, la temperatura es superior a la de rocío.

Otro modo de evitar las condensaciones es con una adecuada circulación del agua de entrada a la caldera. El agua fría, procedente del retorno de las demanda se hace entrar de tal modo que pase primero alrededor del hogar y primer paso de humos. De esta manera aun cuando la temperatura de entrada del agua es baja al tener en el interior del hogar temperaturas muy elevadas no se llegará, por la parte interior, a la temperatura de rocío. La circulación se realiza de tal modo que al llegar el agua a los pasos de PDC donde están más fríos la temperatura del agua está por encima de la del punto de rocío.

## 3) Calderas de condensación

En este caso más que una evolución tecnológica del diseño de la caldera, se puede decir que ha sido una evolución de la calidad de los materiales. Consiste en fabricar la superficie de intercambio entre los PDC y el fluido calo portador con



una material que resista el efecto corrosivo de los condensados. El uso de acero de alta calidad combinado con la relativa ausencia de azufre en el gas natural ha hecho que existan en el mercado calderas de condensación sobre todo para gas. Existen también algunas calderas de condensación para gasóleo.

Estas calderas, al contrario de las estándar o de baja temperatura, provocan la condensación de los PDC con el fin de convertir el calor latente de la condensación del vapor de agua en calor útil para aumentar la temperatura del fluido calo portador. Por ello, cuando las aplicaciones así lo permiten (temperaturas de retorno bajas) el rendimiento está por encima de la unidad o por encima del 100%), ya que el rendimiento está referido al PCI del combustible, que si recordamos su definición es la energía que desprende la reacción de combustión menos la parte de esta energía necesaria para evaporar el agua producto de la reacción.

## **El quemador**

Las tres tecnologías anteriormente descritas corresponden a la caldera, entendida como la “olla” en donde calentamos el fluido calo portador, es decir al cuerpo de caldera. Ahora bien otra parte no menos importante es el quemador, elemento que provoca la combustión en el hogar de la caldera, y que está íntimamente ligado a esta.

Las funciones del quemador son básicamente las siguientes:

- Inyectar el combustible en el hogar.
- Inyectar el aire necesario en el hogar para que se produzca la combustión (reacción con el oxígeno).
- Procurar la energía inicial necesaria para desencadenar la combustión (chispa o llama).

La actividad del quemador puede dividirse en tres periodos:

- En espera de que exista demanda. Por tanto parado.
- Arrancando para iniciar la combustión.
- En marcha produciendo la combustión en el hogar de la caldera.

Cuando el quemador está en espera de demanda (recordemos que puede existir una demanda por autoprotección de la caldera que como se ha comentado anteriormente disminuye el rendimiento de la misma, pero esto no atañe al quemador) no debe producirse ningún gasto de energía, por tanto los quemadores no deben ser de llama permanente (como sucede en muchas caldera murales), ya que es un gasto innecesario.

Durante el arranque del quemador suceden dos hechos que hacen perder rendimiento a la caldera:

Antes de producirse la combustión se realiza un soplado (paso abundante de aire a través del hogar) para eliminar los posibles restos de combustible inquemado que pudiera producir una explosión. Esto enfría la caldera.

Es el momento en que mayor fracción de inquemados se produce por lo que se reduce el rendimiento de la caldera.

Para disminuir estas pérdidas debe evitarse que se produzcan muchos arranques del quemador. Es preferible que esté funcionando a baja potencia suministrando la demanda en la misma magnitud que se está produciendo y no por encima de ella. Esto se consigue con quemadores de etapas o modulantes.

En función de la capacidad de fraccionar la potencia existe tres tipos de quemadores:

**TODO-NADA.** El quemador, cuando arranca lo hace a plena potencia y seguirá así hasta que no exista demanda de energía. En este punto parará.

**ETAPAS.** Normalmente son de dos o tres etapas. En función de la demanda entra con un % de la potencia total. Si la demanda es alta entra a plena potencia y si es menor entra con una o dos etapas, que usan una fracción de la potencia total.

**MODULANTE.** Adapta la potencia a la demanda. Son los más adecuados para cualquier aplicación.

Por otro lado es importante acondicionar la potencia de la caldera (conjunto quemador y cuerpo de caldera) a la demanda real de la instalación, ya que sobredimensionar la misma (cosa que ocurre con mucha frecuencia) obligará a parar el quemador durante más tiempo del estrictamente necesario. En

consecuencia disminuirá la carga de la caldera reduciendo el rendimiento de la caldera.

Cuando el quemador está funcionando, además de inyectar el combustible, está inyectando aire para que se produzca la reacción de combustión. Todo el aire que se inyecta se calienta, perdiéndose parte de la energía empleada a través de los PDC que escapan, a elevada temperatura, por la chimenea. Por tanto la cantidad de aire que se inyecta en el hogar debe estar bien regulada, ya que de no ser así se producen dos efectos perjudiciales para el rendimiento de la caldera:

Si entra menos aire del necesario se producirá una combustión incompleta. Lo que supone un aumento de los inquemados y una pérdida de rendimiento de la caldera.

Si entra más aire aumentamos la masa de PDC, lo cual significa que se consumirá más energía para calentar a la misma temperatura los PDC, asimismo se perderá parte de la energía por la chimenea.

### **Bombas de calor de alto rendimiento (COP y EER). Certificación Eurovent.**

Como se explicó anteriormente la bomba de calor usa un ciclo de expansión compresión con la finalidad de enfriar un elemento en base a calentar otro. Es decir transfiere energía del uno al otro, en modo inverso a como ocurre de modo natural: transfiere energía del foco frío al foco caliente (de ahí el nombre de bomba).

Las bombas de calor se pueden clasificar de distintas maneras:

- Según el proceso:
  - Por compresión, por lo que requieren de un motor que puede ser de eléctrico o térmico (generalmente funcionan con gas).
  - Térmicas (Bombas de Calor de absorción), en las que el ciclo se impulsa mediante calor a temperaturas elevadas.
- Según el medio de intercambio de energía

En función del medio físico que se utilizan en el condensador (compresión) y el evaporador (expansión).

	Medio del que se extrae la energía	Medio al que se cede la energía
Según medio de origen y de destino de la energía	AIRE	AIRE
	AIRE	AGUA
	AGUA	AIRE
	AGUA	AGUA
	TIERRA	AIRE
	TIERRA	AGUA

**Tabla 15 Diferentes tecnologías de bombas de calor según el medio físico e el que se realiza la transferencia térmica.**

- Las bombas de calor aire-aire: son las que más se usan, sobre todo en climatización.
  - Bombas de calor aire-agua: se utilizan para producir agua fría para refrigeración o agua caliente para calefacción y agua caliente sanitaria.
  - Bombas de calor agua-aire: Permiten aprovechar la energía contenida en el agua de los ríos, mares, aguas residuales, etc. Producen unos rendimientos energéticos mejores que las que utilizan aire exterior. La instalación más habitual para enfriar el agua del ciclo de condensación es mediante una torre de condensación, más que la evacuación hacia sumideros de energía.
  - Bombas de calor agua-agua: son bastante parecidas a las anteriores.
  - Bombas de calor tierra-aire y tierra-agua: Aprovechan el calor contenido en el terreno. Se conocen como bombas de calor geotérmicas.
- Según construcción
- Compacta: Todos los elementos que constituyen la Bomba de Calor se encuentran alojados dentro de una misma carcasa.
  - Split o partidas: Están constituidas por dos unidades separadas. Una exterior donde se aloja el compresor y la

válvula de expansión y una unidad interior. De esta manera se evitan los ruidos en el interior local.

- Multi-split: Están constituidas por una unidad exterior y varias unidades interiores.
- Según funcionamiento
  - Reversibles: Pueden funcionar tanto en ciclo de calefacción como en ciclo de refrigeración invirtiendo el sentido de flujo del fluido.
  - No reversibles: Únicamente funcionan en ciclo de calefacción o en ciclo de refrigeración.
  - Termofrigobombas: Producen simultáneamente frío y calor.

El rendimiento energético de una bomba de calor se evalúa mediante el COP (Coefficient of Performance, Coeficiente de Funcionamiento) o el EER (Rendimiento Eléctrico Equivalente).

El COP se define como el cociente entre la energía térmica cedida por el sistema y la energía de tipo convencional absorbida.

En un ciclo ideal de Carnot este índice toma el valor:

$$COP = \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Donde  $T_1$  es la temperatura absoluta del foco caliente y  $T_2$  la temperatura absoluta del foco frío.

En la práctica este valor se modifica de la siguiente manera:

$$COP_{práctico} = \alpha \frac{T_{f1}}{T_{f1} - T_{f2}}$$

$\alpha$  es un coeficiente de rendimiento que tiene en cuenta que el ciclo real no se desarrolla en condiciones perfectas de isoentropicidad, (los procesos son irreversibles y no perfectamente adiabáticos). Este coeficiente oscila entre 0,3, en máquinas pequeñas, hasta 0,65 en las de gran potencia.

$T_{f2}$  y  $T_{f1}$  son respectivamente las temperaturas absolutas de evaporación y condensación del fluido refrigerante.

Para que la transmisión de calor entre el fluido refrigerante y un foco frío tenga lugar, es necesario que  $T_{f2}$  sea inferior a  $T_2$ . De la misma manera, para que el fluido refrigerante ceda calor al foco caliente,  $T_{f1}$  debe ser superior a la temperatura del foco caliente  $T_1$ .

El *COP* práctico depende del coeficiente de rendimiento  $\alpha$  y de las temperaturas del foco frío y caliente. En la figura siguiente se representa esta dependencia, presentando el tipo de sistemas de clima en los que se utiliza cada una de las tecnologías.

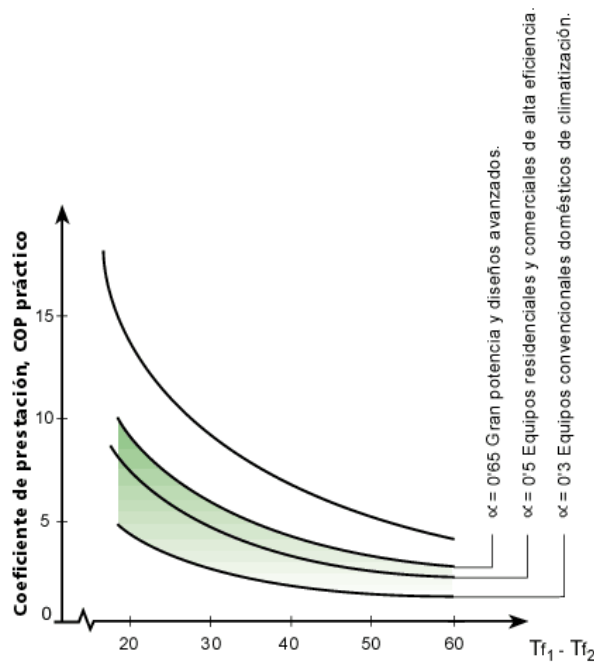
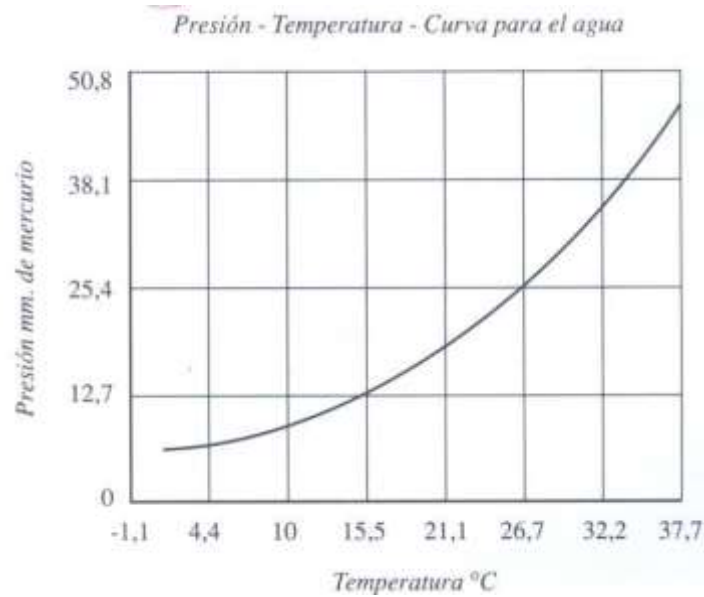


Figura 38 Rango de uso de las bombas de calor con el COP asociado que suelen tener

## Bombas de calor por absorción.

Fue el primer sistema para refrigerar que se empleó. Consiste en hacer uso de la variación de la temperatura de evaporación de un líquido con la presión absoluta.



**Figura 39 Variación de la temperatura de evaporación en función de la presión absoluta**

La evaporación de un líquido es un fenómeno endotérmico, es decir necesita energía para producirse. Cuando un líquido llega a un punto psicrométrico determinado, es decir a una determinada temperatura y presión se produce, de forma espontánea la evaporación. Cuando esto sucede toma la energía necesaria para que se produzca este fenómeno del medio circundante. Al extraer la energía produce un enfriamiento de dicho medio. Este temperatura puede reducirse hasta que se alcance la temperatura de evaporación, que como hemos indicado viene dada en función de la presión.

En la figura anterior se presenta la variación de esta temperatura en función de la presión para el agua.

Como se puede apreciar, para una presión absoluta alrededor de 7 Pa el agua evapora a 5°C. Por tanto si en un sistema rodeado de unas paredes diabáticas (permiten el paso de energía pero no de materia) producimos mecánicamente una presión de 7 Pa e introducimos agua, esta empezará a evaporarse y a bajar la temperatura del propio sistema y de sus alrededores hasta los 5°C. Este es el fenómeno que buscamos con la absorción, ya que si estas paredes diabáticas están en contacto con otro fluido (que puede ser agua también) enfriaremos este fluido, como máximo hasta la temperatura de evaporación (los mencionados 5°C), pudiendo usar este fluido enfriado para producir refrigeración.

Por otro lado, si después de provocar el fenómeno antes descrito, seguimos añadiendo agua, para que siga evaporándose, aumentará la presión de vapor de forma continuada hasta que se alcance la presión de saturación. A partir de este instante añadir más agua no producirá más evaporación, sino que se formará una nube de gotas de agua sin producir el efecto refrigerante.

Si se quiere seguir evaporando agua se debe bajar la humedad relativa del sistema, para ello hemos de eliminar el agua que se ha producido en la evaporación.

Esto se consigue usando sales hidrófilas que absorben este agua obteniendo una solución concentrada de agua y sal. En los sistemas comerciales actuales de máquinas de absorción se suele emplear el Bromuro de Litio ( $LiBr$ ) y el agua como refrigerante (líquido que se evapora en la parte de la máquina de absorción a bajas presiones).

Las primeras máquinas de absorción que se fabricaron usaban como elemento refrigerante el amoníaco ( $H_3N$ ). Este elemento sigue usándose en la actualidad pero es menos frecuente que el agua.

En este tipo de máquinas de absorción el agua se emplea con el mismo fin que el  $BrLi$  en las actuales. Es el  $H_3N$  el elemento que se evapora en el evaporador. Presenta la ventaja de que a la misma presiones que el agua tiene su punto de evaporación a  $5^{\circ}C$ , el  $H_3N$  evapora a temperaturas bajo cero, por lo que este tipo de máquinas puede emplearse para congelar.

Con el fin de completar el ciclo debemos separar de nuevo la sal del agua, y emplearemos el agua para volver a inyectarla en el espacio a baja presión, y la sal para absorber el condensado creado en el proceso refrigerante.

La separación de la sal y el agua se lleva a cabo calentando la solución concentrada hasta evaporar el agua a presión asimismo baja pero muy superior a los 7 Pa (se necesitan por tanto importantes cantidades de energía), quedando de este modo una disolución diluida (o incluso agua pura, dependiendo de la temperatura de trabajo) y por otra parte la sal.

En la siguiente figura se presenta el ciclo térmico del proceso de absorción.



La temperatura de trabajo de las máquinas de absorción con *LiBr* y agua oscilan entre los 80 y los 120°C. Cuanto mayor es la temperatura mayor potencia de refrigeración tiene la máquina. El rendimiento es alrededor del 70% en cualquier caso. Es decir el 70% de la energía consumida se emplea en refrigerar, el resto se pierde en el proceso.

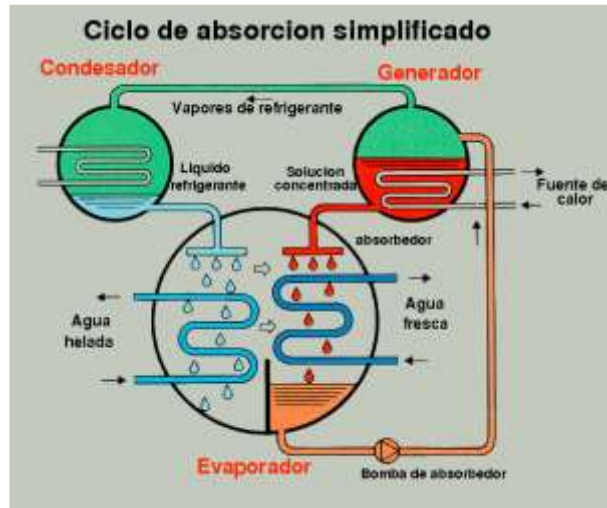


Figura 40 Ciclo térmico de la solución de LiBr, agua en máquina de absorción

Una característica interesante de las máquinas de absorción es que el rendimiento no disminuye por trabajar a diferentes temperaturas, lo que varía es la potencia refrigerante de la máquina, es decir a menor temperatura la potencia refrigerante de la máquina es menor. Esto, en ocasiones, puede ser un inconveniente, pero en la mayoría de los casos, al trabajar con un sistema solar, la disminución de la temperatura significa que no hay una oferta de radiación solar suficiente, y ello lleva asociado que la demanda de refrigeración es también menor.

Como se ha podido observar existe una gran variedad de bombas de calor en cuanto a tecnología así como el posterior tratamiento del aire en las UTAs.

La forma más adecuada de seleccionar una bomba de calor es mediante el rendimiento eléctrico que posee (EER) o el COP (coeficiente de funcionamiento).

Mediante el procedimiento de calificación energética Eurovent existe una certificación energética de una gran cantidad de marcas y modelos que se han certificado mediante el mismo procedimiento, lo cual nos da una información muy valiosa para la comparación de los productos existentes en el mercado.

La clasificación Eurovent distingue los siguientes rangos, en función de los equipos que se evalúen:

	Split & Multi	Compactos	Portátiles
<b>A</b>	EER>3,20	EER>3,00	EER>2,60
<b>B</b>	3,20≥EER>3,00	3,00≥EER>2,80	2,60≥EER>2,40
<b>C</b>	3,00≥EER>2,80	2,80≥EER>2,60	2,40≥EER>2,20
<b>D</b>	2,80≥EER>2,60	2,60≥EER>2,40	2,20≥EER>2,00
<b>E</b>	2,60≥EER>2,40	2,40≥EER>2,20	2,00≥EER>1,80
<b>F</b>	2,40≥EER>2,20	2,20≥EER>2,00	1,80≥EER>1,60
<b>G</b>	2,20≥EER	2,00≥EER	1,60≥EER

Figura 41 Clasificación de bombas de calor en modo de refrigeración para usos de pequeñas potencias

Eligiendo sistemas de generación de alta eficiencia energética disminuirémos el consumo, ya que aprovechan mejor las fuentes de energía primaria, disminuyendo de este modo la cantidad de combustible para suministrar la demanda del edificio.

### 8.2.2. Uso de energías renovables. Biomasa, energía solar y geotermia

El uso de energías renovables en edificios tiene plena aplicación en los edificios. Este hecho está recogido en el CTE con la obligación de instalar sistemas de producción de ACS mediante tecnología solar térmica. Asimismo, en determinadas tipologías de edificios es obligatorio instalar sistemas fotovoltaicos de producción de electricidad.

En el capítulo 2 se explicó las obligaciones que deben cumplir los nuevos edificios con respecto a la instalación de sistemas solares.

Además de estas tecnologías, la instalación de calderas biomasa es de aplicación directa en sistemas de calefacción y producción de ACS en edificios, ya que sustituye directamente a las calderas convencionales.

La diferencia con respecto a las instalaciones convencionales, además del precio que suele ser más elevado, es que el combustible tiene un contenido energético más bajo y por tanto requiere de un volumen más alto de almacenamiento para tener la misma cantidad de energía.

Requiere de un sistema más complejo de alimentación automática desde el depósito de almacenamiento hasta el hogar de la caldera donde se producirá la combustión.

Por último debe tener un depósito de inercia donde se almacenará la energía que contiene el combustible residual en el interior del hogar cuando se detiene el suministro energético de calefacción y ACS.

Por lo demás el funcionamiento de un sistema de caldera con combustible de biomasa es idéntico a cualquier otro combustible.



**Figura 42** Diferentes tipos de almacenamiento de biomasa para su uso en calderas

### 8.2.3. Distribución de la energía

Para mejorar la eficiencia energética en los sistemas de clima, además de tener generadores eficientes, es necesario realizar una serie de acciones que ahorran una cantidad importante de energía.

En el esquema del sistema de clima que se describe en el siguiente esquema, dependiendo de la tipología de UTAs instaladas puede hacerse recuperación de calor del aire de ventilación así como refrigeración gratuita.

Ambas técnicas pueden ahorrar una cantidad importante de energía. Además de esto, en el RITE se obliga a realizar recuperación de calor cuando en el edificio se intercambien más de  $1800 \text{ m}^3/h$ .

Asimismo cuando existe un sistema de ventilación mecánica, bien incorporado a las UTAs, bien independiente, es posible realizar free cooling cuando las condiciones exteriores lo permiten.

Es evidente que ambos sistemas requieren de sistemas mecánicos de ventilación, lo que no es usual en edificios pequeños (como viviendas o pequeños edificios del terciario).

Estos mecanismos serán de aplicación en edificios de tamaño medio y grande.

Cuando la distribución de la energía desde la generación a las zonas a climatizar se hace por aire, este es tratado en las UTAs (climatizadoras). En ellas se produce el acondicionamiento higrotérmico del aire, las renovaciones con el aire exterior, el filtrado para una calidad adecuada a las exigencias del confort y la salubridad humana.

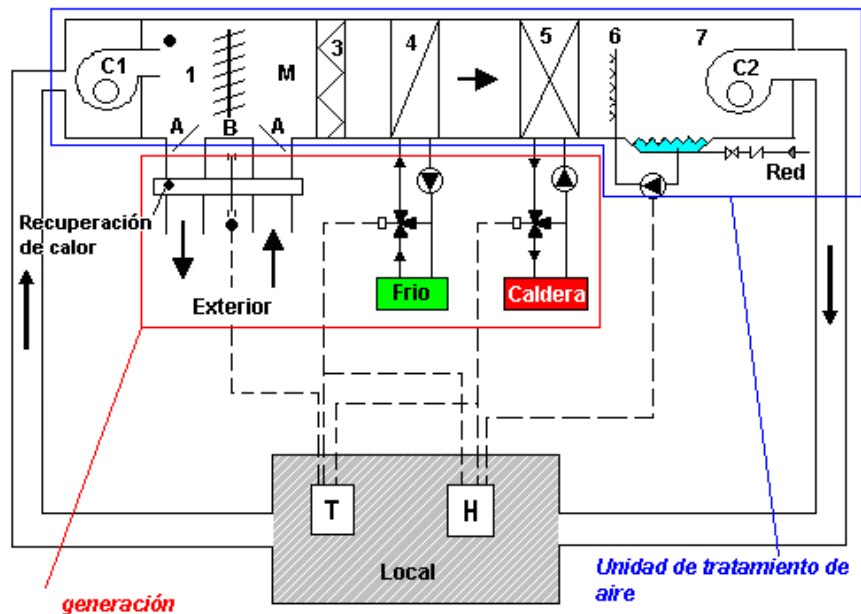


Figura 43 Esquema de un sistema de climatización

## Recuperación del calor

Si un edificio está climatizado su temperatura interior está dentro de los rangos de temperatura y humedad que requiere el confort humano.

Por otro lado este aire interior se contaminará por la propia presencia humana como por, dependiendo de la actividad que se desarrolle requerirá, por razones de salubridad, que se renueve este aire con aire exterior no contaminado.

Aunque las condiciones de calidad ambiental no sean las adecuadas, si lo son las térmicas por lo que se debe recuperar el contenido entálpico, transfiriéndolo al aire de sustitución para que ingrese en la UTA pre acondicionado, requiriendo por tanto menos energía para su acondicionamiento total.

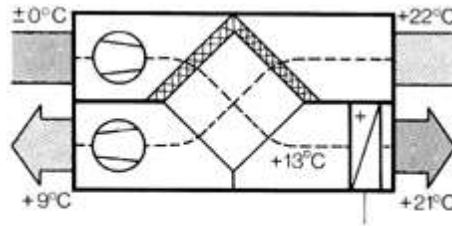


Figura 44 Esquema de un recuperador de calor del aire de ventilación

Los sistemas de recuperación de calor, en función de la tecnología que tengan pueden alcanzar rendimientos muy altos, es decir la cantidad de energía recuperada frente a la energía total eliminada.

Tiene eficiencias entre 0,5 hasta 0,87, lo cual supone un gran ahorro energético en edificios.

Este tipo de sistemas pueden instalarse tanto integrados en UTAs, como en los sistemas independientes de ventilación.

Por tanto es recomendable instalar estos sistemas en cualquier edificio que tenga un sistema de ventilación mecánico, independientemente del tamaño del mismo, ya que los ahorros que produce suelen amortizar la inversión necesaria en periodos cortos de tiempo, con altas rentabilidades.

### **Refrigeración gratuita. Free cooling.**

El enfriamiento gratuito, conocido en el entorno de los técnicos de climatización como free cooling consiste en eliminar la recirculación del retorno del aire de las estancias, es decir renovaremos todo el aire interior por aire exterior.

Esto se hará cuando las condiciones higrotérmicas del aire interior requieran de más energía que las que se encuentra el aire exterior.

En un edificio sin un sistema de aire para la climatización sería el equivalente a establecer una ventilación natural (abrir las ventanas). Este sistema permite un control mucho más riguroso, ya que únicamente se efectuará cuando las condiciones exteriores lo permitan, y de forma controlada para mantener las condiciones de confort interiores.

El ejemplo del ahorro que puede suponer este sistema se ve claramente reflejado en un caso muy típico. Un local con una alta ocupación (una discoteca en una noche de sábado en invierno) tiene una carga latente y sensible muy elevada, que para ser eliminada por medios mecánicos requiere de una potencia elevada con un consumo energético elevado.

Si las condiciones exteriores tienen una baja temperatura, y una humedad adecuada es más eficiente renovar el aire del interior por aire exterior que recircular parte del retorno por la UTA, ya que el aire interior requerirá de mayor energía para su acondicionamiento que el exterior.

Es necesario realizar un control de la temperatura y humedad del aire exterior (control por entalpía) para usar este sistema cuando sea conveniente.

En consecuencia, el único tratamiento que haremos con el aire exterior es el filtrado exigido en el RITE para que la calidad del mismo sea adecuada.

En función del tipo de edificio, y de la climatología exterior los ahorros que se produzcan aplicando esta tecnología pueden ser realmente importantes.

## **Aislamiento en conductos**

Es evidente que una de las medidas más elementales, pero más eficientes a la vez es el adecuado aislamiento de conductos y tuberías.

Eliminar estos focos de pérdidas es muy importante para la disminuir el consumo de energía.

En tuberías que transportan agua (fría o caliente) habrá que remitirse, como mínimo, a lo establecido en el RITE. En las siguientes tablas se describen los espesores mínimos a los que nos referimos:

**Tabla 16 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el interior de edificios.**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	25	25	30
$35 < D \leq 60$	30	30	40
$60 < D \leq 90$	30	30	40
$90 < D \leq 140$	30	40	50
$140 < D$	35	40	50

**Tabla 17 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos calientes que discurren por el exterior de edificios**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura máxima del fluido (°C)		
	40...60	> 60...100	> 100...180
$D \leq 35$	35	35	40
$35 < D \leq 60$	40	40	50
$60 < D \leq 90$	40	40	50
$90 < D \leq 140$	40	50	60
$140 < D$	45	50	60

**Tabla 18 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el interior de edificios.**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	-10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	30	20	20
$35 < D \leq 60$	40	30	20
$60 < D \leq 90$	40	30	30
$90 < D \leq 140$	50	40	30
$140 < D$	50	40	30

**Tabla 19 Espesores mínimos de aislamiento (mm) de tuberías y accesorios que transportan fluidos fríos que discurren por el exterior de edificios**

Diámetro exterior (mm)	Temperatura mínima del fluido (°C)		
	> -10...0	> 0...10	> 10
$D \leq 35$	50	40	40
$35 < D \leq 60$	60	50	40
$60 < D \leq 90$	60	50	50
$90 < D \leq 140$	70	60	50
$140 < D$	70	60	50

Cuando se trata de conductos que transportan aire (frío o caliente) los espesores mínimos deberán ser los siguientes:

**Tabla 20 Espesores mínimos de aislamiento (mm) para conductos que transportan aire**

	En interiores mm	En exteriores mm
aire caliente	20	30
aire frío	30	50

Es conveniente aumentar los espesores para disminuir las pérdidas de energía, calculando para cada caso el espesor óptimo económico, y un poco más previendo el incremento del coste de la energía.

#### 8.2.4. Unidades terminales

La adecuada selección de las unidades terminales tiene un efecto fundamental en la eficiencia energética, tanto por el ahorro que producen como por el confort que proporcionan. Al fin y al cabo son estos elementos los que van a conseguir que en las diferentes estancias se alcance el nivel térmico deseado.

En general la calefacción por aire es menos confortable que por agua. Es decir el suelo radiante o radiadores generan un ambiente mucho más confortable en invierno que si utilizamos difusores.

Esta afirmación puede aplicarse de forma general, pero también es cierto que un sistema por aire de gran calidad puede proporcionar incluso mayor confort, ya que además de la temperatura controla la calidad del aire (renovaciones con aire exterior) y la humedad del ambiente.

La principal característica que debe cumplir una unidad terminal con aire para proporcionar un gran estado de confort es que sea capaz de homogenizar la temperatura de la estancia, ya que de otro modo lo que se generará es una estratificación térmica inversa a la que exige el confort: zonas frías en los niveles inferiores y calientes en los superiores, estratificación contraria a la que produce el suelo radiante.

En sistemas de distribución por agua las unidades terminales más frecuentes son:



## Radiadores

Este sistema se usa exclusivamente para calefacción.

Se hace circular agua a una temperatura elevada de modo que en el radiador se cede energía al ambiente que variará en función de dos parámetros fundamentales:

- Las características técnicas del radiador.
- La temperatura de impulsión del agua.
- El caudal de agua.

La potencia del radiador varía considerablemente en función de la temperatura de trabajo del mismo, la cual se define como la media entre la temperatura de entrada al radiador y la temperatura de salida del mismo.

En la siguiente figura se aprecia una curva típica de un radiador, observando que existe una tendencia casi lineal de la potencia del radiador (de un elemento del radiador) con el salto térmico, definido como la temperatura de trabajo del radiador menos la temperatura ambiente.

Como vemos la dependencia de la potencia con la temperatura de impulsión es muy considerable.

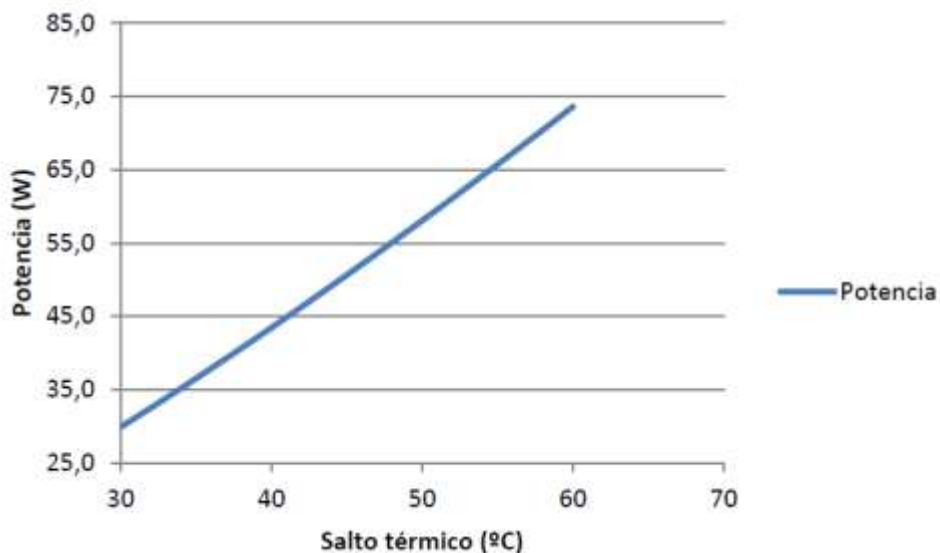


Figura 45 Variación de la potencia de un radiador en función del salto térmico del mismo con la temperatura ambiente.

En la medida que requiramos de mayor potencia (condiciones exteriores extremas) será necesario aumentar la temperatura. Es decir el sistema de radiadores requiere de altas temperaturas de trabajo, Típicamente la impulsión a radiadores se sitúa entre los 80-90°C.

Al trabajar a alta temperatura las pérdidas por conducción y convección aumentan en todo el sistema: desde la caldera hasta el radiador, siendo por tanto más ineficiente el sistema cuanta mayor temperatura se requiera. Es evidente que estas pérdidas deben minimizarse mediante el uso de aislamiento adecuado.

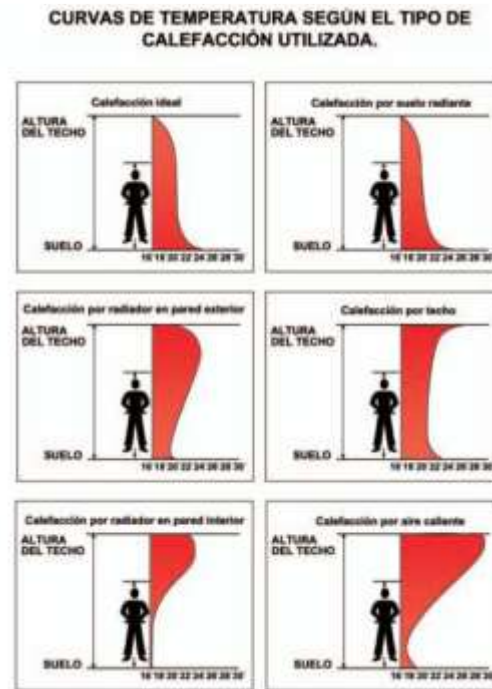
## **Suelo radiante**

El suelo radiante es un sistema de distribución de energía para calefacción que presenta grandes ventajas frente a los sistemas tradicionales de radiadores, y también frente a los más novedosos como son los fan-coils o mediante conductos y difusores de aire, ya sean estos últimos lineales o rotacionales.

Los sistemas de distribución mediante fan-coils y/o difusores calientan el aire que finalmente se introduce en el espacio a acondicionar. Este aire introducido está más caliente que el del espacio, por lo que su tendencia natural es ascender, por diferencia de densidades ocupando las capas más altas del espacio.

Si los fan coils o los difusores están en el techo deben impulsar el aire con una velocidad controlada ya que deben garantizar dos fenómenos:

- Que el aire caliente llegue hasta la zona de ocupación (habrá que diseñar estos elementos en función de la altura del techo).
- Que la velocidad a la que llega a esta zona es lo suficientemente baja para que no cause molestias a los ocupantes.



**Figura 46** Diferentes curvas de gradiente térmico en función del tipo de sistema de distribución de la energía utilizado.

En cualquier caso, estando la impulsión del aire caliente en el techo, el gradiente térmico que se establece en la zona de ocupación es el inverso al deseado, ya que el aire más frío estará en la zona más baja (los pies) e irá aumentando la temperatura a medida que asciende (cabeza).

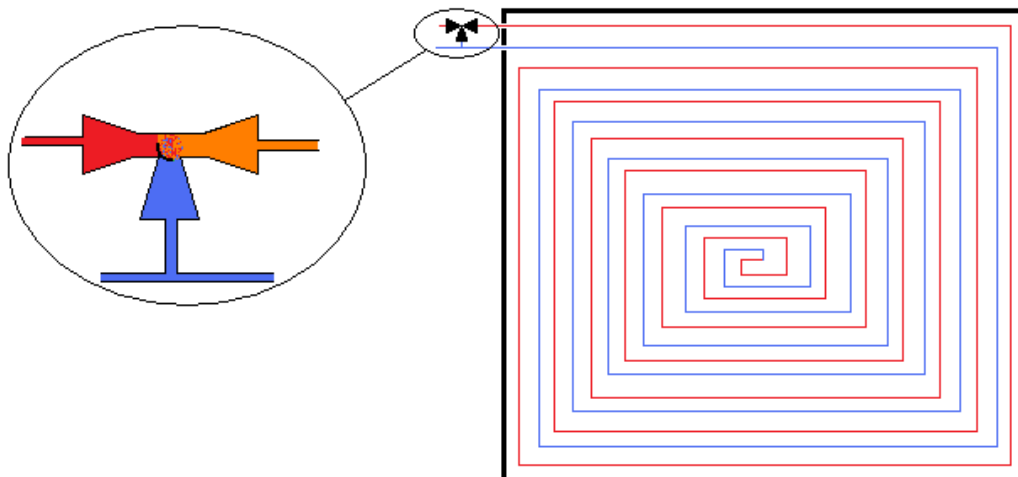
En cambio el sistema de suelo radiante, al tener el foco de calor en el suelo se establece un gradiente térmico óptimo para la calefacción, ya que tenemos una gran superficie que está más caliente que el aire de la estancia en el nivel más bajo de la misma.

Por otro lado los radiadores clásicos se caracterizan por ser superficies pequeñas a alta temperatura (80-90°C típicamente). Esta forma de trabajar supone:

- Asimetrías térmicas en la distribución de la temperatura, siendo más altas cerca de los radiadores y menores a medida que nos alejamos de ellos.
- Mayores pérdidas de energía en la generación y distribución (por convección, radiación y conducción) al estar obligados a trabajar a temperaturas más elevadas.

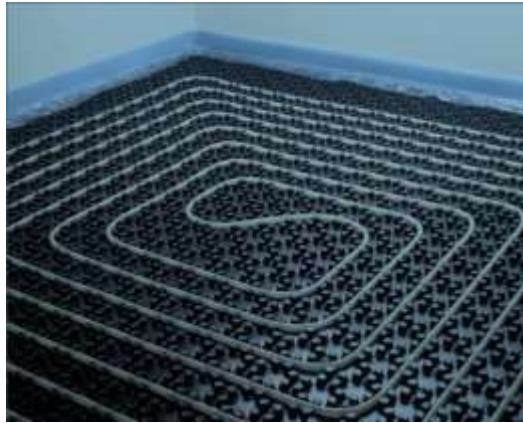
Las principales consideraciones que es necesario tener en cuenta para la correcta ejecución del suelo radiante son las siguientes:

- Garantizar la uniformidad de la temperatura en todo el suelo. Esto se consigue colocando los circuitos del suelo radiante en forma de doble espiral invertida, es decir entramos en la estancia formando una espiral que bordea el perímetro de la misma, estrechándose hacia el centro. Una vez llegamos al centro invertimos el sentido de la espiral, siguiendo los carriles que ha formado la primera espiral (véase la Figura 19).
- Garantizar una temperatura inferior a los 40°C en la impulsión, lo cual se consigue mediante el uso de una válvula mezcladora a la salida del elemento generador de la energía (caldera, bomba de calor, etc.), de modo que se mezcla en la proporción adecuada el agua de impulsión con la de retorno para conseguir la temperatura que se desee.
- Disponer de un control de arranque y parada del sistema generador predictivo, en función de la temperatura exterior, ya que al ser un sistema con una gran inercia térmica es necesario anticiparse a la demanda o exceso de energía para estar de forma continua en condiciones de confort.



**Figura 47** Diseño de un suelo radiante para controlar la temperatura de impulsión y para conseguir una distribución uniforme de la temperatura en todo el suelo de la estancia acondicionada.

Evidentemente todas estas consideraciones tienen un reflejo tecnológico en el mercado, existiendo aparatos comerciales que cumplen con las exigencias que se han descrito. Asimismo los profesionales de la ingeniería como los de la instalación conocen (o deben conocer) estas tecnologías.



**Figura 48** Ejecución real de un suelo radiante con todos los elementos que lo componen

## **Fan-coils**

Estos sistemas distribuyen aire y agua a los locales acondicionados, donde se encuentran las unidades terminales. El aire y el agua se enfrían o calientan separadamente en instalaciones centralizadas y desde ahí se distribuyen por todo el edificio. El aire que se suministra a los locales debe satisfacer las necesidades de ventilación.

### Ventajas

- Al disponer una unidad terminal por zona o local, permite un control individualizado de la temperatura.
- Si está proyectado adecuadamente, permite al usuario elegir entre calefacción o refrigeración.
- Al utilizar el agua como fluido calo portador, el sistema de distribución requiere menos espacio que un sistema de aire.
- El caudal de aire es mucho menor que en un sistema todo aire, lo que reduce notablemente el tamaño de la UTA.
- Control de humedad, filtrado y ventilación centralizada en el climatizador.

### Inconvenientes

- Los sistemas a dos tubos dificultan la operación en épocas intermedias.
- El mantenimiento en estos sistemas suele ser inexistente, lo cual perjudica seriamente el funcionamiento del sistema. El rendimiento de las unidades terminales disminuye por la falta de limpieza que es muy habitual.
- Dificultades para controlar la humedad del local.

Este sistema es muy parecido al sistema de inducción; la diferencia principal estriba en la sustitución de los inductores por un ventilador (fan) y un serpentín (coil).

Es un sistema muy utilizado en hoteles, hospitales y edificios de apartamentos.

El aire exterior se acondiciona en una UTA, y luego es transportado hacia los fan-coils. Durante el verano, se suministra agua caliente a las unidades de cada local, y aire frío procedente de la UTA. Durante el invierno, se suministra agua fría a las unidades y el aire primario es calentado de acuerdo con los valores deseados.

Sus principales ventajas son:

- Calefacción y refrigeración simultáneamente en diferentes locales si la instalación es a 4 tubos.
- Espacio ocupado bajo.
- Control individual de temperatura de las habitaciones.
- Circulación confinada del aire en la habitación.
- Ventilación eficaz a todas horas.
- Buena distribución del aire

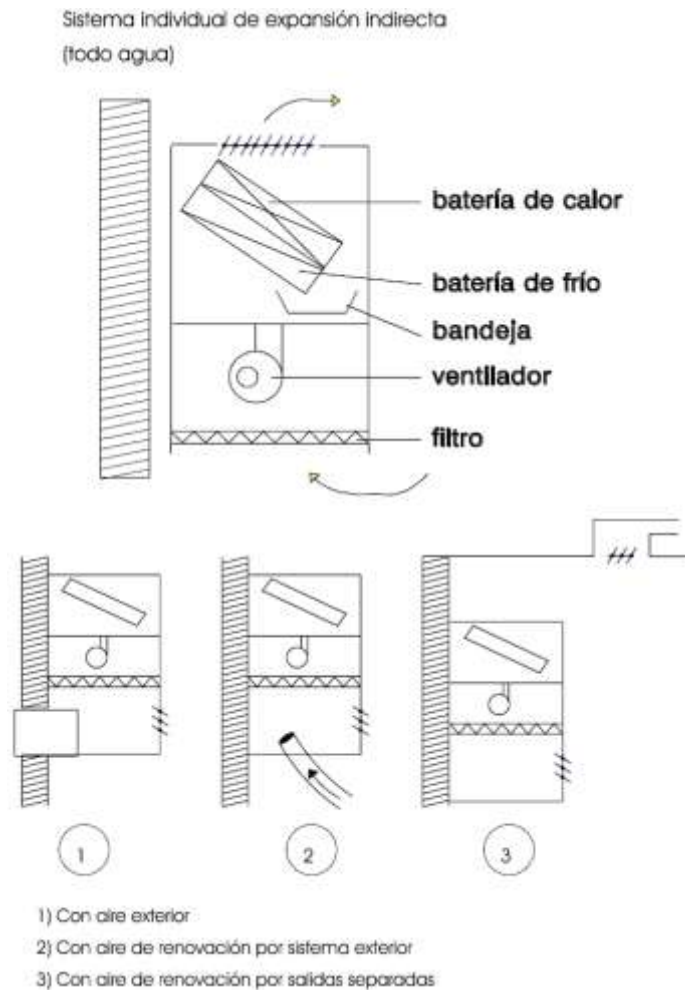


Figura 49 Ventilconvector o fan-coil

## Difusores

Las principales funciones de la difusión del aire en un local son:

- Introducción del aire en el local
- Homogeneización
- Evitar estratificaciones
- Compensación de cargas térmicas

En cuanto a la temperatura, una vez establecidas la temperatura seca del local (condiciones interiores), el sistema de distribución de aire debe estar proyectado para mantener la temperatura dentro de los límites deseables. En una habitación se admiten variaciones entre distintos puntos de 1°C y en un grupo de habitaciones una diferencia máxima de 1.7°C.

En cuanto a la velocidad del aire, en la Tabla 11 se incluyen las velocidades recomendadas con las reacciones de los ocupantes:

Velocidad (m/s)	Incidencia	Aplicación
0 -> 0.1	Desfavorable (Estratificación)	Muy rara
0.1 -> 0.2	Favorable	Confort
0.2 -> 0.3	Desfavorable sentado ( $v_{max} = 0.25 \text{ m/s}$ ) Favorable erguidas Favorable movimiento lento ( $v_{max} = 0.4 \text{ m/s}$ )	Confort Almacenes Bancos
> 0.3	Desfavorable	Climatización industrial

**Tabla 21 Velocidades del aire en la zona ocupada de un local**

Sin embargo, hay que notar que estas velocidades no son las velocidades en la boca de impulsión, sino en la zona ocupada (aproximadamente desde el suelo hasta 2 metros sobre el suelo). En la siguiente tabla se dan las velocidades recomendadas en las bocas de salida según la aplicación.

Aplicación	Velocidad (m/s)
Estudios de radiodifusión	1.5 -> 2.5
Residencias	2.5 -> 4
Apartamentos	2.5 -> 4
Iglesias	2.5 -> 4
Dormitorios (hotel)	2.5 -> 4
Teatros	2.5 -> 4
Oficinas particulares	2.5 -> 4
Salas de cine	5
Oficinas públicas	5 -> 6.5
Almacenes comerciales	7.5 -> 10

**Tabla 22 Velocidades recomendadas en las bocas de salida**

Debemos tener en cuenta que el aire caliente tiene menos densidad que el frío, por lo que la época de calefacción debemos seleccionar adecuadamente el difusor para que sea capaz de impulsar el aire hasta el nivel del suelo, ya que de otro modo crearemos una estratificación térmica con la zona inferior más fría que la superior.

### 8.2.5. Controles automáticos

Hemos visto que el control es fundamental para un funcionamiento optimizado de la instalación. El apagado y encendido de los aparatos generadores, las bombas y ventiladores de la distribución



Hemos venido describiendo que controles se establecen en los diferentes partes del sistema, pero uno de los más adecuados será el que no produzca consumos innecesarios en los sistemas de generación ya que son los que producirán un consumo directo de energía primaria.

Para este tipo de control debe hacerse una predicción de la evolución de las condiciones exteriores de tal modo que podamos operar sobre el sistema de generación en base a lo que va a suceder.

Este tipo de sistema se conoce como adaptativo predictivo.

El Sistema de Control Adaptativo Predictivo (SCAP) patentado internacionalmente, da nombre a la vertiente de control de la compañía y representa un importante avance en la teoría y la práctica del control de procesos. El control predictivo no reacciona al error, sino que predice la evolución de las variables y aplica las medidas de control necesarias para conseguir en todo momento la evolución deseada. De esta forma, SCAP garantiza la completa estabilización del proceso, incluso bajo condiciones de operación extremas, y el control preciso de sus variables, lo que permite la optimización de las siguientes condiciones:

- Minimización del consumo de recursos (energía, materias primas y otros).
- Maximización de la producción en términos de calidad y cantidad.
- Funcionamiento regular y estable de todo el proceso.
- Seguridad y fiabilidad.

El sistema SCAP permite:

- Medida continúa del rendimiento industrial.
- - Regulación mediante Control Adaptativo Predictivo de las variables críticas.
- Identificación permanente de los puntos de operación que maximizan el rendimiento industrial.
- Automatización completa de todos los procesos.
- Supervisión Windows centralizada.

Beneficios derivados:

- Aumento de la producción.
- Ahorro energético.
- Aumento de la calidad del producto.
- Funcionamiento uniforme de las instalaciones, reduciendo los arranques y paradas y evitando averías, alargando de esta forma la vida útil de las máquinas.
- Adaptación específica del sistema a las necesidades de operación de cada proceso, independizando su rendimiento de las habilidades, distintos criterios y atención de los operadores.
- El entorno Windows facilita al máximo las tareas del operador sin demandar de éste un conocimiento especializado.

### 8.3. Mejora de la iluminación

La luz forma parte de nuestra vida y, por este motivo, es una de las necesidades energéticas más importantes en un hogar y representa aproximadamente la quinta parte de la electricidad que consumimos en la vivienda.

Para conseguir una buena iluminación hay que analizar las necesidades de la luz en cada una de las partes de la vivienda, ya que no todos los espacios requieren la misma luz, ni durante el mismo tiempo, ni con la misma intensidad. Resulta importantísimo aclarar la idea equivocada, pero muy extendida, de asociar la “luz” que proporciona una bombilla con la “cantidad” de electricidad necesaria para producirla. Hablamos, así, de una bombilla de 60 o de 100 vatios (W) como sinónimos de bombillas que producen una cierta luminosidad, cuando, en realidad, el vatio es una unidad de potencia y la luz tiene su propia unidad de medida, el “lumen”.

La eficacia luminosa de una lámpara es la cantidad de luz emitida por unidad de potencia eléctrica (W) consumida. Se mide en lúmenes por vatio y permite comparar la eficiencia de unas fuentes de la luz con respecto a otras.

La eficacia luminosa de las bombillas incandescentes se sitúa entre los 12  $lm/W$  y los 20  $lm/W$ , mientras que para las lámparas fluorescentes va desde los 40  $lm/W$  a los 100  $lm/W$ .

### 8.3.1. Tipología de lámparas

Las lámparas disponen de etiqueta energética, por lo que la tendencia debe ser sustituir las lámparas de baja calificación energética, por lámparas de calificación A.

#### **Lámparas incandescentes**

La luz se produce por el paso de corriente eléctrica a través de un filamento metálico, de gran resistencia.

Este filamento alcanza altas temperaturas (en torno a los 1000°C) y emite radiación en la longitud de onda del visible.

Son las de mayor consumo eléctrico, las más baratas y las de menor duración (1.000 horas).

Las bombillas incandescentes sólo aprovechan en iluminación un 5% de la energía eléctrica que consumen, el 95% restante se transforma en calor, sin aprovechamiento luminoso.

Esta eficiencia tan baja produce un beneficio durante el invierno, ya que al aumentar la carga interna del edificio disminuye la demanda de calefacción. Ahora bien, es efecto beneficioso en la época de calefacción se convierte en perjuicio en verano, ya que se deberá disipar esta carga térmica aumentando de este modo el consumo de energía.

Evidentemente lo que esperamos de las lámparas es luz, y no calor, por lo que esta tecnología es la menos recomendable en cualquier caso.

#### **Lámparas halógenas**

Tienen el mismo fundamento que las anteriores, es decir la luz la producen por incandescencia. Se caracterizan por una mayor duración y la calidad especial de su luz.

Existen lámparas halógenas que necesitan de un transformador. Los transformadores de tipo electrónico disminuyen la pérdida de energía con respecto a los convencionales; y el consumo final de electricidad (lámparas más transformador) puede ser un 30% inferior al de las bombillas incandescentes.

## **Lámparas fluorescentes**

Se basan en la emisión luminosa que algunos gases como el flúor emiten al paso de una corriente eléctrica. La eficacia luminosa resulta así mucho mayor que en el caso de la incandescencia puesto que en este proceso se produce un menor calentamiento y la electricidad se destina, en mayor proporción, a la obtención de luz. Son más caros que las bombillas incandescentes.

Consumen hasta un 80% menos de electricidad que las bombillas incandescentes para la misma emisión luminosa y tienen una duración entre 8 y 10 veces superior. Los tubos del tipo trifósforo o multifósforo dan entre un 15 y 20% más de iluminación que los tubos estándar para un mismo consumo eléctrico. Los equipos con reactancia electrónica de alta frecuencia son más eficientes.

Necesitan para su funcionamiento un balasto que consume a su vez energía. Por tanto para evaluar el consumo energético de esta tipología de lámparas será necesario sumar a la potencia de la lámpara, la potencia del equipo auxiliar.

## **Lámparas fluorescentes compactas**

Son pequeños tubos fluorescentes que se han ido adaptando progresivamente al tamaño, las formas y los soportes (los casquillos de rosca) de las bombillas a las que estamos comúnmente habituados. Por esta razón, las lámparas de bajo consumo son conocidas también como lámparas fluorescentes compactas.

Son más caras que las bombillas convencionales aunque, por el ahorro en electricidad, se amortizan mucho antes de que termine su vida útil (entre 8.000 y 10.000 horas). Duran en torno a ocho veces más que las bombillas incandescentes o halógenas y proporcionan la misma luz, consumiendo apenas un 20-25% de la electricidad que necesitan las incandescentes. Por todo ello, su uso es enormemente recomendable.

Bombilla incandescente	LFC que ofrece la misma intensidad de luz	Ahorro durante la vida de la lámpara (kWh)	Ahorra en coste de electricidad durante la vida de la lámpara (€)
40 W	9 W	248	25
60 W	11 W	392	39
75 W	15 W	480	48
100 W	20 W	640	64
150 W	32 W	944	94

Tabla 23 Comparativa entre lámparas incandescentes y LFC

## Lámparas de descarga

Estas lámparas no son habituales en los edificios del terciario. Son las que usualmente se utilizan en la iluminación de vías urbanas, ya sean para el tránsito peatonal o rodado.

Las más eficientes desde el punto de vista energético son las lámparas de vapor de sodio de baja presión, pero su baja resolución cromática hace que su uso este reservado a las autovías y paso por túneles. Es imposible leer con comodidad y sin perder la vista en el intento con este tipo de iluminación.

La tecnología que se usa con más frecuencia es la de vapor de sodio de alta presión, la cual consigue una mejor resolución cromática, pero sigue siendo insuficiente para la aplicación en el interior de los edificios.

En las vías públicas, así como para la iluminación de grandes volúmenes interiores (hall de entrada de edificios grandes) se usan lámparas de vapor de mercurio, debido a la buena resolución cromática que tienen, pero su eficiencia es muy baja, encontrándose entre las incandescentes y las fluorescentes. La tendencia actual es eliminar este tipo de lámparas en la iluminación pública.

Al igual que las lámparas fluorescentes requieren de un balasto para su funcionamiento.

Tienen un alto rendimiento lumínico (Lumen/W), superior a todas las tecnologías actuales incluso la LED), pero no son de utilidad en espacios interiores.

Parámetro	Tipo de lámpara HID				
	Vapor de Hg alta presión	Luz mezcla	Vapor de Na baja presión	Vapor de Na alta presión	Haluros metálicos
Temperatura del color	3.000 -4.500 K	2.900 K	-	2.100 K	6.000 K
Potencia (W)	50-1000	160-500	18-180	50-1.000	250-1.000
Rendimiento (lumen/W)	50,4-58	20-40	130-200	80-140	68-105
Vida útil (horas)	6.000 -9.000			24.000	16.000 a 20.000
Reactancia	Sí	-	Sí	Sí	Sí
Cebador	No	Sí	No	No	Sí
Capacitor	Sí	-	Sí	Sí	Sí

Tabla 24 Características técnicas de las lámparas de descarga

## LED

Una nueva tecnología está empezando a aparecer con fuerza en el mercado, la tecnología LED. Como ocurre con la mayoría de las novedades existe en el mercado una cantidad importante de productos de muy baja calidad que no han pasado ningún control para su comercialización.

En consecuencia hay que ser muy crítico para seleccionar este tipo de productos. Lo que sí parece evidente es que en un futuro no lejano vamos a encontrar esta tecnología en cualquier iluminación, ya que no tiene restricciones para su uso, desde espacios interiores a exteriores y con fines ornamentales.

Hasta ahora, la tecnología LED se está usando para iluminación ornamental o para iluminar puntos muy significativos, nunca para iluminar grandes superficies (ni comerciales ni industriales, ni exteriores)

Si hacemos la comparación de la tecnología LED con los tubos fluorescentes podemos reportar lo siguiente.

Para un tubo de 120 cm se instalan 342 LED SB (Súper brillantes) reportando un consumo de 15 w. Para 150 cm 420 LED SB con un consumo de 18 w y para 60 cm 174 LED SB con un consumo de 8 w.

Para saber la bondad del producto debemos comparar las características energéticas, luminosas y económicas de estos nuevos productos con los clásicos tubos fluorescentes.

Veamos en primer lugar las características energéticas para un tubo de 120 cm. Los fluorescentes clásicos presentan una potencia de 36 w, que corresponden

a un consumo eléctrico en los arranques de 75 w. Los tubos LED, al no tener cebador, su consumo es de 15 W, con independencia de los arranques que se realicen. Esto supone un ahorro mínimo del 58,3%, pudiendo llegar en función del uso hasta del 80%. Dando un precio de 0,19 € el *KWh*, nos supone un ahorro por cada hora de funcionamiento de 0,11€ a 0,15€ por *KW* instalado de iluminación fluorescente.

Comparemos ahora las características luminosas.

Los tubos fluorescentes presentan parpadeos en su proceso de encendido, emitiendo radiación UV. Los tubos LED, no presentan parpadeo ni emiten radiación UV. Respecto a los valores de iluminación, se presentan los siguientes valores: (Iluminación producida por un tubo de 60 cm a 3 m. de altura en el centro y a 2 y 3 m de desviación).

TUBO	Lux 3m izquierda	Lux 2m izquierda	Lux centrado	Lux 2m derecha	Lux 3m derecha	Potencia
Convencional	17,7	24	33,3	24,2	18,1	36W
LED	24	39	55	39	24	15W

**Tabla 25 Comparativa lámpara convencional frente a LED**

Esto representa un incremento de la luminosidad de entre el 35 y el 65% a favor de los tubos LED.

### 8.3.2. Balastos electrónicos

Es evidente que toda la tecnología electromagnética se está sustituyendo por la electrónica porque presenta menos problemas y menores consumos energéticos. Los balastos electromagnéticos, necesarios tanto en la tecnología fluorescente como en la de descarga para su correcto funcionamiento deben sustituirse por balastos electrónicos para disminuir el consumo de energía.

Existen diferentes tecnologías de balasto electrónico que tienen aplicación en diferentes sistemas de iluminación:

- Balasto electrónico convencional, le cual hace las mismas funciones que el electromagnético consumiendo menos energía.

- Balasto electrónico de doble nivel. Permite dos pasos de intensidad eléctrica. La nominal y en torno al 75% de la nominal. De este modo se regula el flujo luminoso a dos niveles constantes. Suele aplicarse a iluminación pública con fines de ahorro energético: Reduce el flujo luminoso a la mitad dentro de una franja horaria preestablecida donde no es posible reducir la iluminación (típicamente entre las 2 a las 6 de la madrugada).
- Balasto electrónico regulable. Es capaz de controlar la intensidad eléctrica que se suministra a la lámpara para obtener el flujo luminoso deseado. Este tipo de balasto es necesario para realizar un control de aprovechamiento de la luz natural.

### 8.3.3. Control eficiente

Además de la sustitución de lámparas y equipos auxiliares, lo cual supone un aumento considerable de la eficiencia energética del sistema de iluminación, debemos disminuir la demanda mediante el uso de sistemas de control que nos permitan optimizar el uso de la iluminación. Este control hará que:

- Se aproveche al máximo la iluminación natural
- No se use la iluminación artificial si no es estrictamente necesario.

Se diseñan tres tipos de control:

#### **Regulación automática de flujo luminoso.**

Se aplicará en todas aquellas zonas que tengan una ocupación continua, y que tengan capacidad de uso de la iluminación natural, es decir deben tener ventanas en contacto con el exterior, bien en fachada, bien en cubierta (lucernarios).

Mediante una célula fotoeléctrica se mide el flujo luminoso en el plano de trabajo (usualmente altura de la mesa o de trabajo) y si el nivel luminoso (luxes medidos) es mayor o igual que un determinado valor la iluminación artificial permanece apagada.

Cuando el nivel luminoso medido es inferior al valor definido (500 lux) se enciende la luz artificial, pero de una manera gradual hasta que se alcanza el valor de referencia.



Además siempre existe el control manual, con el cual se puede apagar la luz cuando no se necesite, independientemente del nivel luminoso de la zona. Este control manual solo actual sobre el apagado del sistema, nunca sobre el flujo luminoso de la iluminación artificial.

En este tipo de zonas no es aplicable un control por presencia debido a que la actividad que se desarrolla es muy estática y provocaría el apagado de las luces con presencia de gente trabajando.

### **Regulación por presencia.**

Se aplicará en zonas de tránsito: pasillos, escaleras, baños (excepto inodoros).

Esta regulación tiene dos niveles: luminoso y presencial, es decir la iluminación artificial se pondrá en marcha cuando se den simultáneamente dos premisas:

- No existe suficiente nivel de iluminación (variará en función de la zona: garajes, pasillos, escaleras, etc.)
- Hay alguien que está transitando por la zona de influencia del sensor de presencia.

En cualquier caso la iluminación permanecerá apagada.

### **Regulación manual**

Está prácticamente reservada a los inodoros y zonas con uso esporádico (archivos, almacenes, etc.) ya que es la única posibilidad de satisfacer las necesidades de los usuarios, ya que estas zonas no tienen capacidad de iluminación natural y no puede regularse por presencia al tener una disposición estática del ocupante.

En la siguiente figura se aprecia la distribución de los distintos tipos de control en un edificio administrativo. Las zonas marcadas en azul tienen un control de flujo luminoso, las rojas por control de presencia y las verdes control manual.



Figura 50 Distribución de los tipos de control en un edificio administrativo

## 8.4. Evaluación Técnico – Económica de las soluciones propuestas

Aplicando las técnicas que se han descrito en apartados anteriores debemos evaluar la rentabilidad de cada una de las medidas propuestas. Para ello debemos tener la información de:

- Coste de la energía eléctrica y de combustibles
- Inversión necesaria para la ejecutar la medida propuesta
- Costes de mantenimiento diferentes a los existentes anteriormente, si es que se requieren.
- Gastos financieros de mercado (intereses de los préstamos).

Con esta información estamos en condiciones de evaluar las propuestas que realizamos.

### 8.4.1. Calculo de ahorro energético producido

Como conclusión final de los datos y medidas tomados en el edificio en la ejecución de la auditoría teníamos una distribución de los consumos energéticos por cada uno de los conceptos que hemos venido analizando.

Una vez propuestas las medidas debemos evaluar el ahorro energético que producen, para lo cual usaremos dos tipos de herramientas:

- Programas de simulación dinámica.
- Datos tomados de la auditoría energética.

En función del tipo de medida usaremos la herramienta más apropiada o ambas.

## **Propuestas de mejora de la envolvente**

Por defecto se usarán herramientas de simulación dinámica del comportamiento energético de edificios, por lo que es necesario dominar el manejo de estas herramientas para una correcta evaluación del ahorro energético que se produce por la modificación de la envolvente.

Cualquier otra forma de evaluarlo generará incertidumbres inadmisibles para una correcta evaluación de los ahorros.

De todos modos, y a efectos de completar la tabla económica podemos aplicar valores medios de ahorro en las diferentes medidas que tomemos analizando los documentos que existan en la bibliografía especializada del tema.

## **Propuesta de mejora en el sistema de climatización**

Todo lo dicho para las propuestas de mejora de la envolvente térmica es de aplicación en las que se hagan en los sistemas de climatización. Es decir debemos hacer una simulación dinámica del sistema acoplado con el edificio, ya que es la única forma posible de obtener una buena estimación de los consumos que se producirán.

De todas formas, conocido el rendimiento medio estacional actual de los sistemas de clima, la mejora de la generación incrementará este valor, por lo que estimando este valor (siempre por debajo de lo esperado para no caer en triunfalismos) podemos evaluar los ahorros conseguidos.

Del mismo modo podemos evaluar la mejora de este coeficiente mediante la mejora del mantenimiento de los equipos generadores, y procediendo del mismo modo calcular los ahorros.

## **Propuestas de mejora en el sistema de ACS**

La mejora del sistema de producción de ACS puede evaluarse sin necesidad de usar programas de simulación. Se efectuará mediante la evaluación del aumento del rendimiento medio estacional del aparato generador, el incremento del aislamiento tanto en el depósito de acumulación como en las tuberías de distribución se puede hacer un cálculo del ahorro energético de estas modificaciones.

## Propuesta de mejoras en iluminación

De la auditoría hemos obtenido un consumo energético que se calculó mediante la potencia instalada en iluminación por el uso medio diario de este sistema.

La aplicación de las mejoras en la tecnología de lámparas y de los equipos auxiliares dará como resultado una nueva potencia instalada, la cual será inferior a la actual. Supondremos el mismo número de horas de funcionamiento obtendremos el nuevo consumo energético.

Es decir, el consumo actual es:

$$C_0 = P_0 \times N_h \times D$$

Donde  $C_0$  es el consumo energético actual,  $P_0$  la potencia instalada en iluminación actual,  $N_h$  el número medio diario de horas de uso, y  $D$  el número de días de uso al año.

Con el cambio de tecnología obtenemos una nueva potencia ( $P_1$ ), lo cual generará en siguiente consumo:

$$C_1 = P_1 \times N_h \times D$$

Por lo que el ahorro producido será:

$$C_0 - C_1 = (P_0 - P_1) \times N_h \times D$$

Con este dato, y conocido el coste de la energía obtendremos el valor económico de la energía ahorrada, lo cual será considerado como los ingresos procedentes de la actividad económica.

Para evaluar los ahorros que se producen cuando se aplica un control automático, sobre todo si este control está ligado al aprovechamiento de la iluminación natural, es necesario de nuevo usar modelos de simulación dinámica que calculen el consumo de energía eléctrica necesario para suplir la demanda de iluminación.

### 8.4.2. Costes inversión

Evaluar los costes de inversión puede hacerse de dos maneras:

- Usando herramientas para ello (presto, CIPE, etc.)
- Pidiendo presupuesto a profesionales para la ejecución del proyecto.

Es evidente que el modo más apropiado es demandar varios presupuestos, con lo cual obtenemos un coste real de mercado de los costes de inversión.

Simultáneamente, dependiendo del tipo de propuesta que se haga se puede demandar, a los mismos proveedores, el coste del mantenimiento preventivo que la propuesta requiera (es evidente que no todas las propuestas requerirán de mantenimiento).

Por otro lado hay que recabar información acerca de los intereses bancarios ante una posible financiación de las propuestas, con ello obtendremos los costes financieros del proyecto.

#### 8.4.3. Análisis económico de la propuesta.

Para evaluar económicamente la propuesta confeccionaremos una tabla tal como la que se presenta a continuación, donde están considerados los principales parámetros económicos que definen la rentabilidad de la inversión realizada.



## Capítulo 9. Ejemplo de calificación energética y propuesta de mejoras de un edificio terciario con CE3X

El siguiente ejemplo describe el proceso de certificación de un edificio de uso “gran terciario”, mediante el procedimiento simplificado de Certificación Energética de Edificios existentes CE3X.

## 9.1. Descripción general del edificio

Se trata de un edificio de oficinas situado en Ciudad Real, el edificio, de 4 plantas se construye en el año 1985. En la planta baja se sitúa el vestíbulo, la cafetería y un sector de oficinas. Las plantas de la primera a la tercera son todas oficinas.

Debido a una reciente rehabilitación se conoce la composición de las fachadas, teniendo el dato de transmitancia térmica de estas así como la *masa/m<sup>2</sup>*.

El sistema de climatización es centralizado, con una planta enfriadora con cuatro grupos de compresión aire-agua, y tres calderas estándar, que alimentan las baterías de una unidad de tratamiento de aire de caudal variable que distribuye el aire a dos zonas del edificio. En el resto del edificio hay fancoils, un total de 25 con una potencia de 2,2 kW. La caldera abastece además a las unidades de recalentamiento terminal ubicadas en las distintas zonas. Existen varios termos eléctricos para el suministro de agua caliente sanitaria (ACS).

Una climatizadora se encuentra en la cafetería con un caudal máximo de 15000 *m<sup>3</sup>/h* cuya fracción de aire primario es del 15%. Potencia de los ventiladores de impulsión y retorno 9 kW en total sin recuperador de calor.

Otra climatizadora en el hall de entrada del edificio con un caudal máximo de 5000 *m<sup>3</sup>/h*, cuya fracción de aire primario es del 15%. Potencia de los ventiladores 2,5 kW. Tiene recuperador de calor del 75%

Existen 3 bombas en el circuito primario de las calderas con una potencia total de 1kW, una bomba del circuito primario de la enfriadora de una potencia de 1,2 kW y dos bombas en el secundario de 3,5 kW.

Existen equipos de iluminación con control en las oficinas.



## 9.2. Introducción de los datos en el programa

Una vez recopilados los datos, se deberá proceder a introducirlos en el programa CE3X.

### 9.2.1. Datos administrativos y generales del edificio

En estas pantallas se deberán introducir los datos básicos del edificio para su posterior gestión administrativa.

The screenshot shows the CE3X software interface with the following data entered:

Localización e identificación del edificio			
Nombre del edificio	Edificio de Oficinas		
Dirección			
Provincia/Ciudad autónoma	Ciudad Real	Localidad	Ciudad Real
Referencia Catastral			

Datos del cliente			
Nombre o razón social	Propietarios		
Dirección	C/ Mayor		
Provincia/Ciudad autónoma	Ciudad Real	Localidad	Ciudad Real
Teléfono		E-mail	
		Código Postal	13080

Datos del técnico certificador			
Nombre y Apellidos	Antonio Colino Tarancón	NIF	509023952
Razón social	Antonio Colino Tarancón	CTF	509023952
Dirección	Calle Isidoro de Sevilla, 2		
Provincia/Ciudad autónoma	Madrid	Localidad	San Sebastián de los Reyes
Teléfono	615869088	E-mail	antonio.colino.t@gmail.com
Titulación habilitante según normativa vigente	Ingeniería Técnica de Telecomunicación		
		Código Postal	28703

Figura 51 Pantalla de introducción de los datos administrativos

Superficie útil habitable: de los datos extraídos de los planos del edificio de oficinas y de las mediciones realizadas sobre el propio edificio, se ha obtenido una superficie útil del edificio (sumando las cuatro plantas) de  $2600m^2$ .

Altura libre de planta: La altura libre de planta es de 3 metros.

Número de plantas habitables: Se introducirán el número de plantas del edificio a certificar consideradas como habitables, en este caso 4.

Consumo total diario de ACS: estos edificios no tienen por qué estar obligados a un consumo de ACS y por lo tanto en el caso de existir consumo se especificará en esta casilla en litros/día. El edificio bajo estudio, 50l/d.

Masa de las particiones: necesaria para consideraciones de inercia térmica en las particiones interiores entre espacios habitables (que no son parte de la envolvente térmica del edificio). Se seleccionará la masa media de las particiones interiores distinguiendo entre:

- Masa ligera:  $< 200 \text{ Kg/m}^2$
- Masa media: entre  $< 200 \text{ Kg/m}^2$  y  $500 \text{ Kg/m}^2$
- Masa pesada:  $> 500 \text{ Kg/m}^2$

Tipo de construcción	Construcción ilustrativa	m (Kg/m <sup>2</sup> )
Construcción ligera	Forjados ligeros o de madera y tabiquería de entramados de madera/panel de yeso laminado. Válido para forjados ligeros y particiones interiores de albañilería y/o muros de carga	200
Construcción de peso medio	Forjados con piezas de entrevigado/losas alveolares y tabiquería de entramados de madera/panel de yeso laminado, albañilería o muros de carga	500
Construcción pesada	Forjados de losas macizas y tabiquería de entramados de madera/panel de yeso laminado, albañilería o muros de carga	900

Tabla 26 Masa de las particiones (Manual de fundamentos técnicos)

Zona climática de Ciudad Real:

- HE-1: D3
- HE-4: V

Perfil de uso: Conforme al Documento Reconocido “Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a Líder y Calener. Anexos”, en los edificios no destinados a vivienda se considerarán tres grupos de niveles de intensidad de las fuentes internas: alto, medio y bajo, con cuatro perfiles horarios de funcionamiento diario: 8, 12, 16 y 24 horas de funcionamiento, en este caso sería una intensidad media de 12 horas.

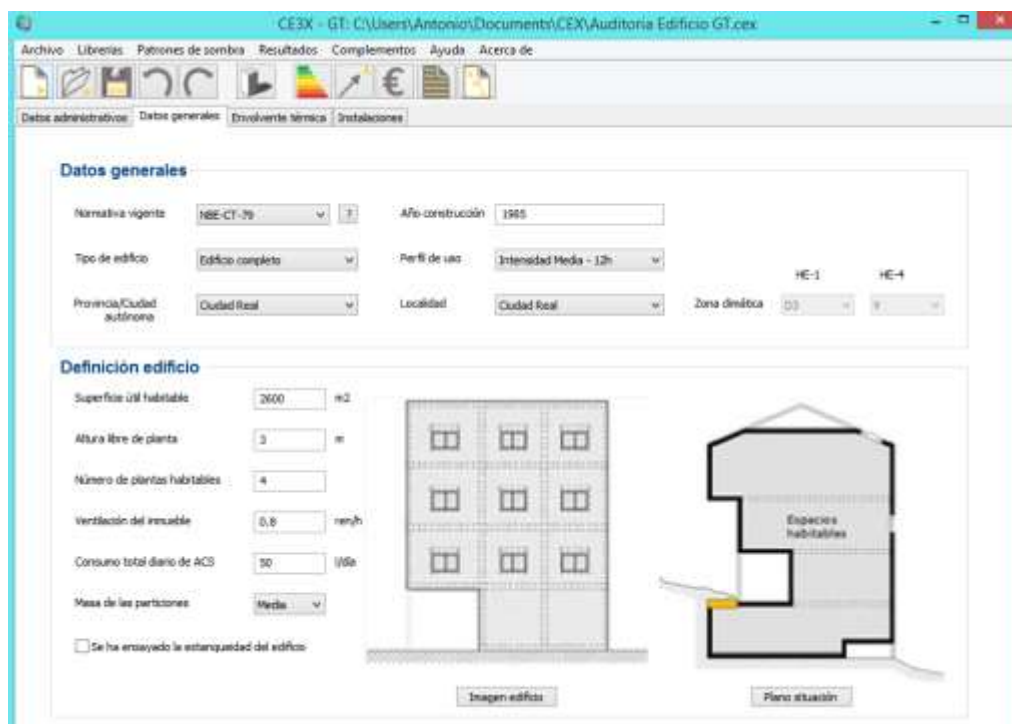


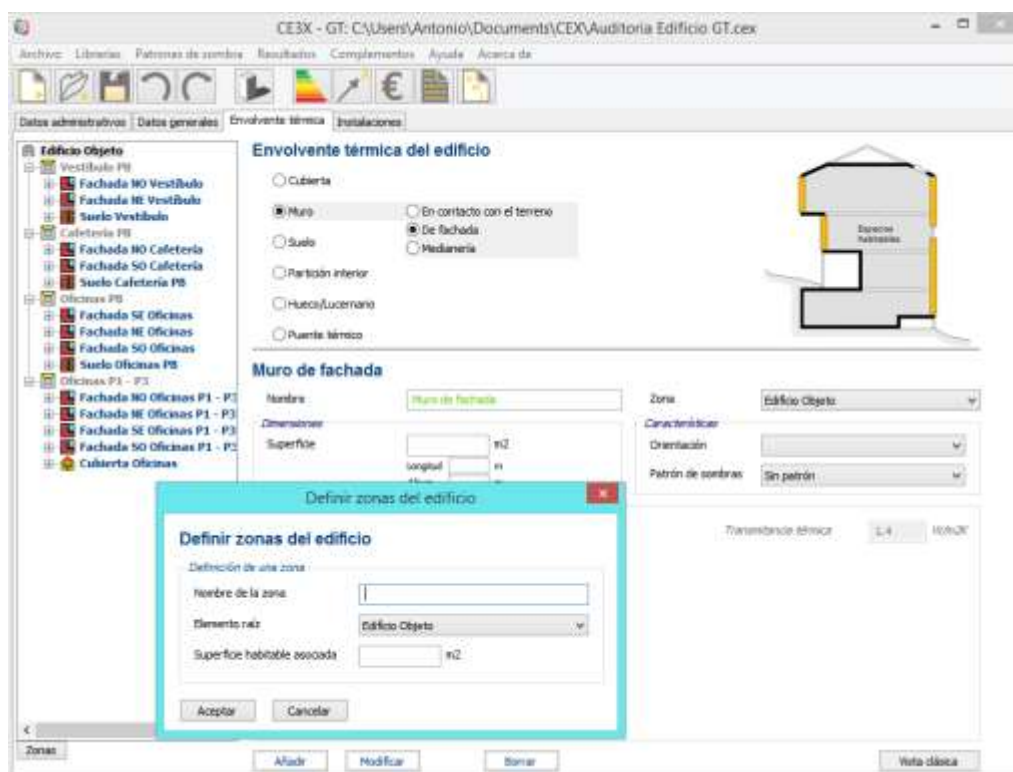
Figura 52 Pantalla de introducción de los datos generales

### 9.2.2. Envoltente térmica

Para la introducción más ordenada de los datos de la envolvente térmica, se ha optado por dividir el edificio en cuatro zonas, vestíbulo, cafetería, oficinas planta baja y resto de oficinas de la siguiente manera:

ZONAS	PLANTA	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
Vestíbulo	PB	75
Cafetería	PB	185
Oficinas	PB	390
Oficinas	P1, P2 y P3	650

Tabla 27 Definición de las zonas del edificio



**Figura 53** Pantalla de introducción de los datos de la envoltante térmica. Cuadro de definición de zonas

La envoltante térmica del edificio de oficinas está constituida por las fachadas, el suelo en contacto con el terreno, la cubierta y los puentes térmicos.

Un resumen de las dimensiones de los cerramientos y de sus propiedades térmicas se muestra en el cuadro siguiente. Como expondré más adelante, la transmitancia térmica  $U$  de las fachadas se definirá como valor conocido, ya que se conoce su composición constructiva, mientras que la del suelo se definirá como valor por defecto.

Se incorporan únicamente los datos relativos a los cerramientos. Los huecos se definirán más adelante (el programa descuenta automáticamente su superficie de la de la fachada).

ZONAS	NOMBRE	L1	L2	Transmitancia Térmica ( $W/m^2K$ )	Masa/ $m^2$ ( $kg/m^2$ )	Modo de definición de U
VESTÍBULO_PB	Fachada NO	25	3	0,47	398	Conocido
	Fachada NE	3	3	0,47	398	Conocido
	Suelo en contacto con el terreno	25	2			Por defecto
CAFETERÍA_PB	Fachada NO	25	3	0,47	398	Conocido
	Fachada SO	7,4	3	0,47	398	Conocido
	Suelo en contacto con el terreno	25	7,4			Por defecto
OFICINAS_PB	Fachada SE	50	3	0,47	398	Conocido
	Fachada NE	10	3	0,47	398	Conocido
	Fachada SO	5,6	3	0,47	398	Conocido
	Suelo en contacto con el terreno	39 0	39 0			Por defecto
OFICINAS_P1, P2 Y P3	Fachada NO	50	9	0,47	398	Conocido
	Fachada NE	13	9	0,47	398	Conocido
	Fachada SE	50	9	0,47	398	Conocido
	Fachada SO	13	9	0,47	398	Conocido
	Cubierta con el aire exterior	50	13	0,47	138,8	Conocido

Tabla 28 Datos envolvente térmica del edificio

A modo de ejemplo, se explica a continuación la introducción de los datos de algunos cerramientos:

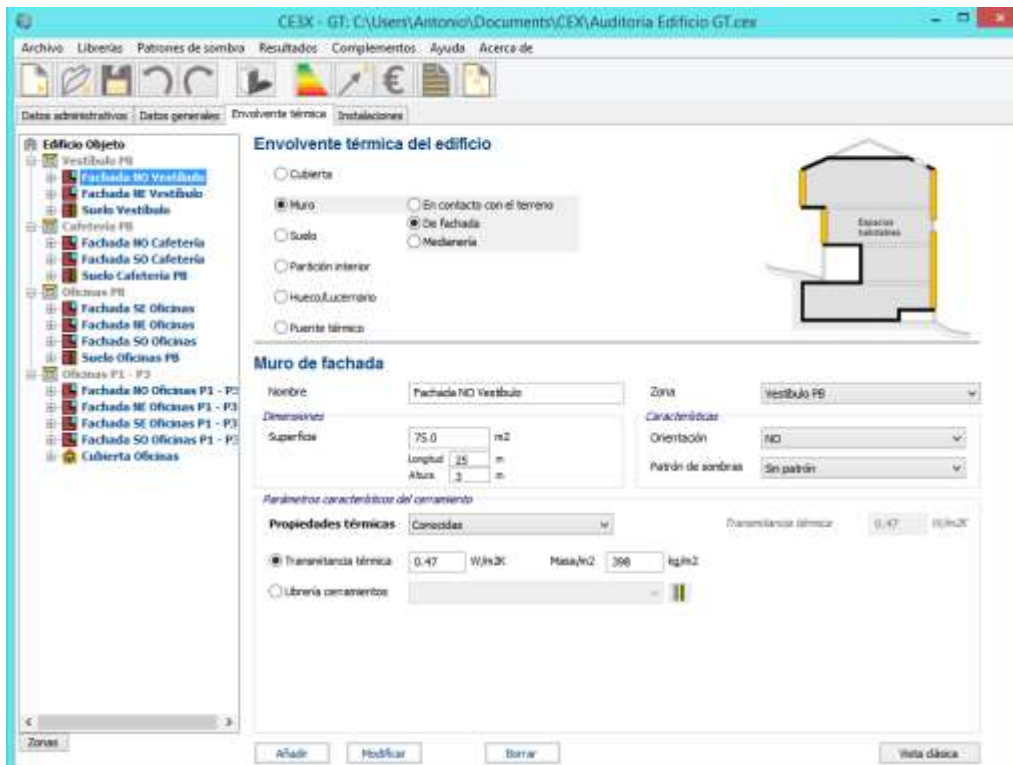


Figura 54 Pantalla de definición del muro de fachada. Fachada NO. Vestibulo PB

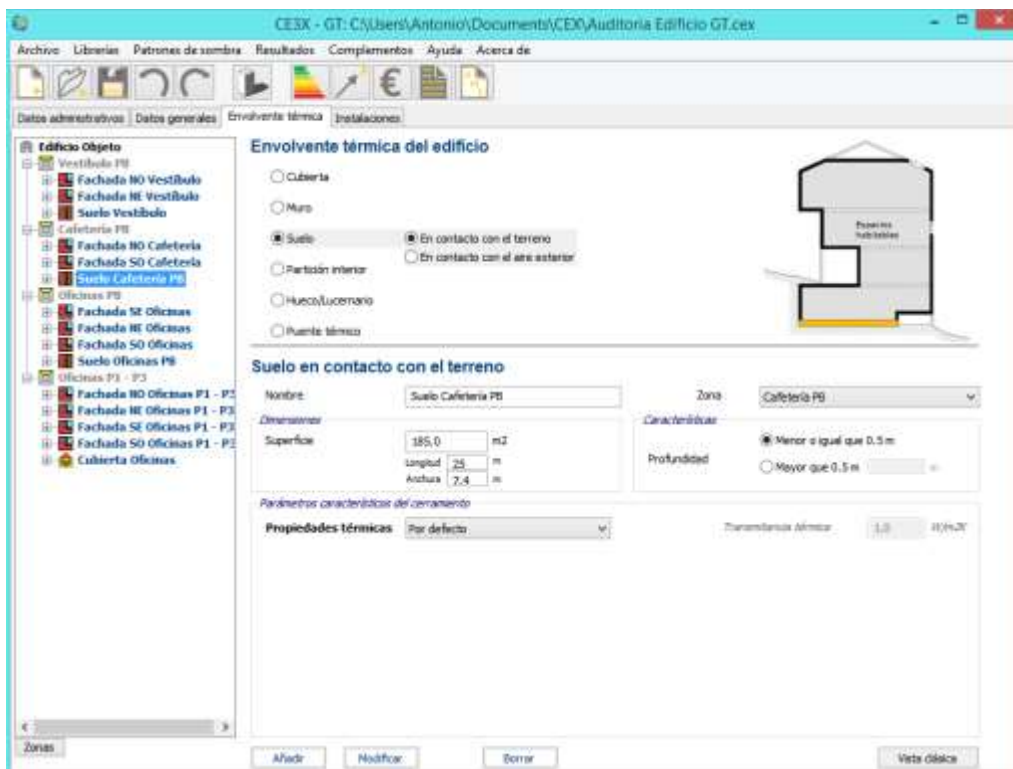


Figura 55 Pantalla de definición del suelo en contacto con el terreno. Suelo cafetería PB

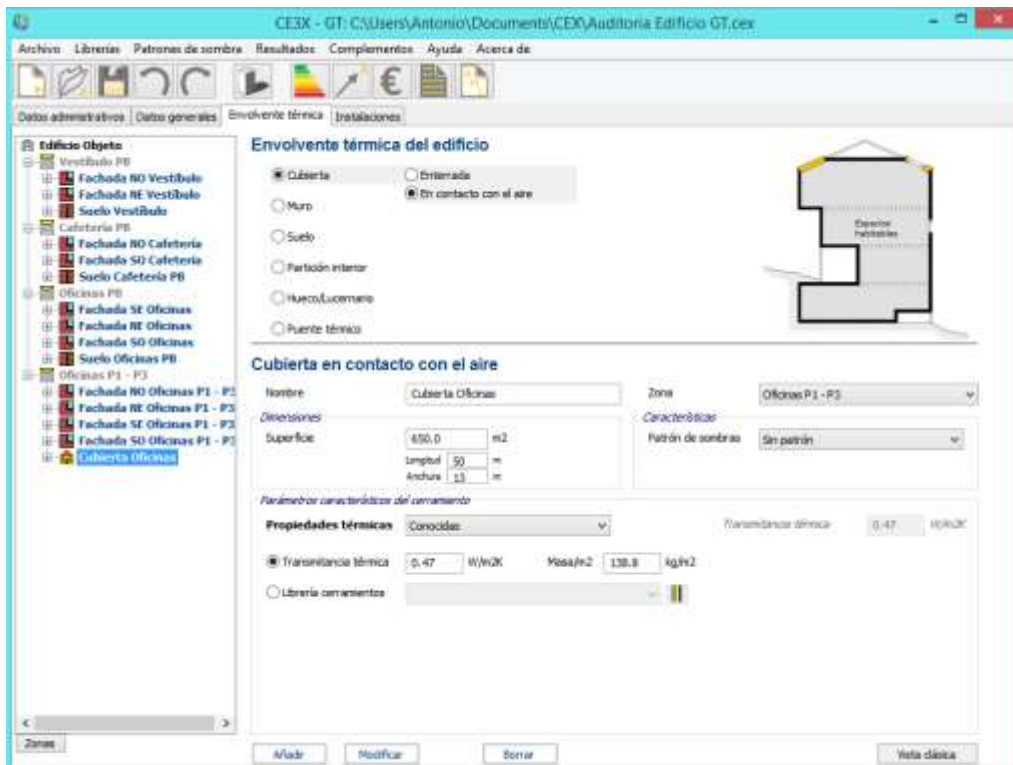


Figura 56 Pantalla definición de la cubierta en contacto con aire

La herramienta informática no dispone de la opción de “copiar” propiamente dicha, pero aprovechando los datos contenidos en el panel de fachada, modificando únicamente la “orientación” del cerramiento, su “nombre” y la zona a la que pertenece, y a continuación pulsar la orden “añadir” para incorporarlo a la estructura en árbol, podemos copiar las características de los distintos elementos.

### 9.2.3. Huecos

En este apartado introduciré los datos referentes a las ventanas y sus marcos, correspondientes a las distintas fachadas.

A continuación se muestran las dimensiones y características generales de los mismos:

Nombre HUECOS	Zona	L	H	nº huecos/planta	nº plantas	Orientación
H NO	Vestíbulo	2	2	6	1	NO
H NE	Vestíbulo	1,2	2,2	1	1	NE
H NO	Cafetería	2	2	6	1	NO
H SO	Cafetería	1,2	1	3	1	SO
H NE	Oficinas PB	1,5	2	2	1	NE
H SE	Oficinas PB	50	1	1	1	SE

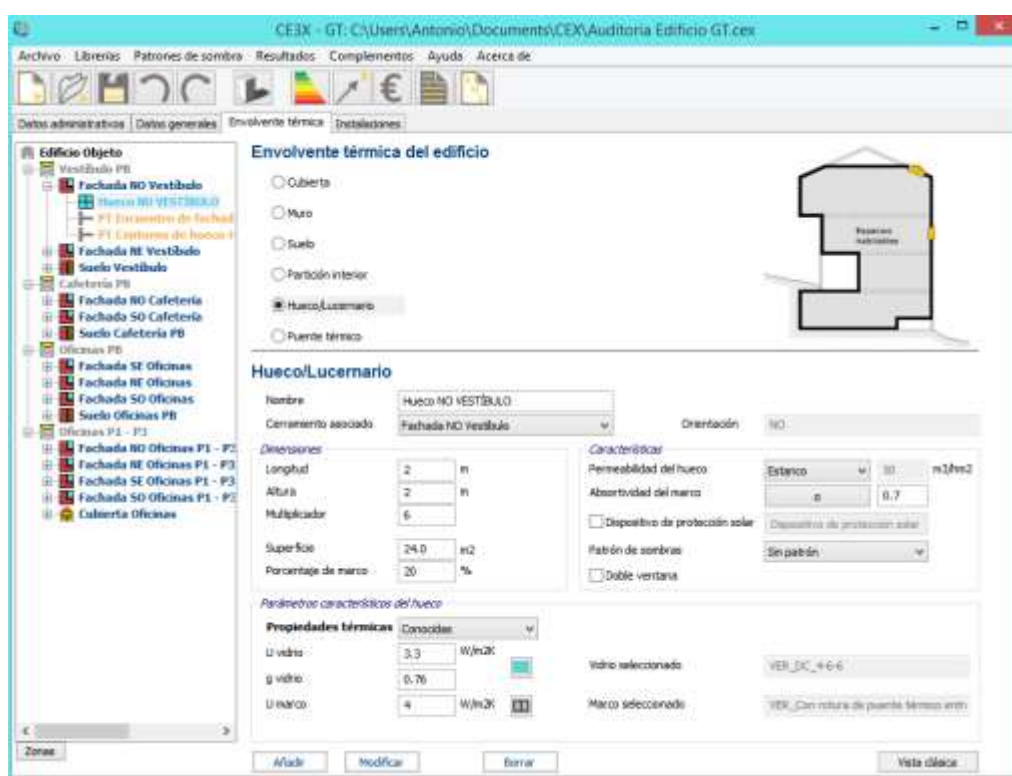


H SO	Oficinas PB	1,5	2	2	1	SO
H NO	Oficinas Plantas	50	1	1	3	NO
H NE	Oficinas Plantas	13	1	1	3	NE
H SE	Oficinas Plantas	50	1	1	3	SE
H SO	Oficinas Plantas	13	1	1	3	SO

**Tabla 29 Descripción de los huecos del edificio**

Los huecos se pueden introducir uno a uno, o bien creando una superficie equivalente igual al sumatorio de superficies o definiendo una tipología de hueco y aplicándole el multiplicador que convenga.

Las dimensiones de cada hueco deben incluir tanto el vidrio como el marco. El porcentaje de marco de ventana deberá considerar toda la carpintería del hueco, incluyendo sus perfiles fijos.



**Figura 57 Pantalla de introducción de los datos de los huecos. Ventana NO Vestíbulo**

## 9.2.4. Puentes térmicos

Para introducir los puentes térmicos, se selecciona la casilla correspondiente, y se ofrece la posibilidad de realizarlos de las maneras diferentes:

- Por defecto.
- Definidos por el usuario.



En este caso se van a realizar por defecto.

Una vez cargados todos los puentes térmicos, es muy importante verificar la longitud y el valor de transmitancia  $\Psi$  de cada puente térmico.

En nuestro caso, la transmitancia térmica de los puentes térmicos se ha modificado respecto a los valores aportados por el programa debido a que los pilares están aislados por el exterior.

A continuación se muestran los puentes térmicos de los distintos cerramientos:

TIPO DE PUENTE TÉRMICO	CERRAMIENTO ASOCIADO	L (m)	$\Phi$ (W/mK)
Puente térmico de unión de fachada cubierta	Cubierta oficinas	126	1,04
Puente térmico de frente de forjado	Vestíbulo NO	75	1,58
	Cafetería NO	75	
	Oficinas PB NE	30	
	Oficinas P1-P3 SE	150	
	Oficinas P1-P3 SO	39	
Puente térmico de unión de fachada con solera	Oficinas PB	126	0,14
	Cafetería	64,8	
	Vestíbulo	54	
Puente térmico de contorno de hueco	H NO Vestíbulo	48	0,55
	H NE Vestíbulo	6,8	
	H NO Cafetería	48	
	H SO Cafetería	13,2	
	H NE Oficinas PB	14	
	H SE Oficinas PB	102	
	H SO Oficinas PB	14	
	H NO Oficinas P1-P3	102	
	H NE Oficinas P1-P3	28	
	H SE Oficinas P1-P3	102	
	H SO Oficinas P1-P3	28	

Tabla 30 Puentes térmicos de cada cerramiento

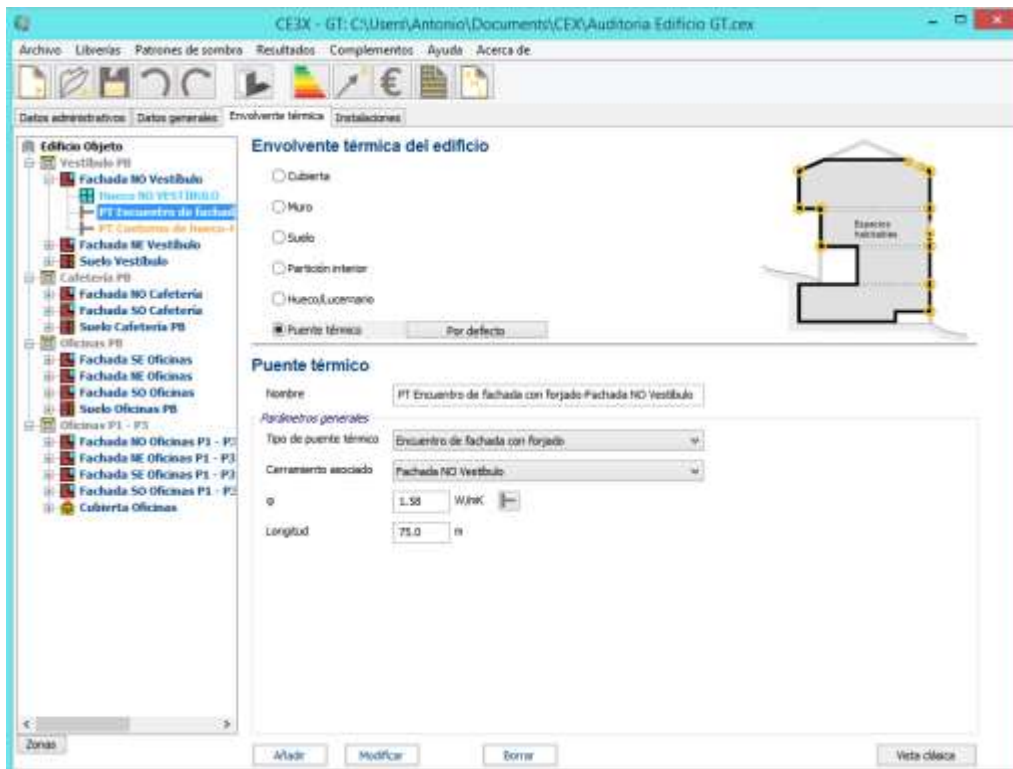


Figura 58 Pantalla de introducción de puente térmico

### 9.2.5. Instalaciones

En este apartado se introducirán los datos referidos a la instalación de climatización y de iluminación.

#### ACS

A continuación se muestran las características de la instalación de ACS.

TIPO DE INSTALACIÓN	NOMBRE	TIPO DE GENERADOR	TIPO DE COMBUSTIBLE	MODO DE DEFINICIÓN	ACUMULADOR	DEMANDA CUBIERTA	RENDIMIENTO NOMINAL (%)	ANTIGÜEDAD DE LA CALDERA
ACS	Termos eléctricos	Efecto Joule	Electricidad	Estimado	SI (1 de 1,5 kW y 75 litros)	100%	100	Más de 10 años

Tabla 31 Datos ACS del edificio

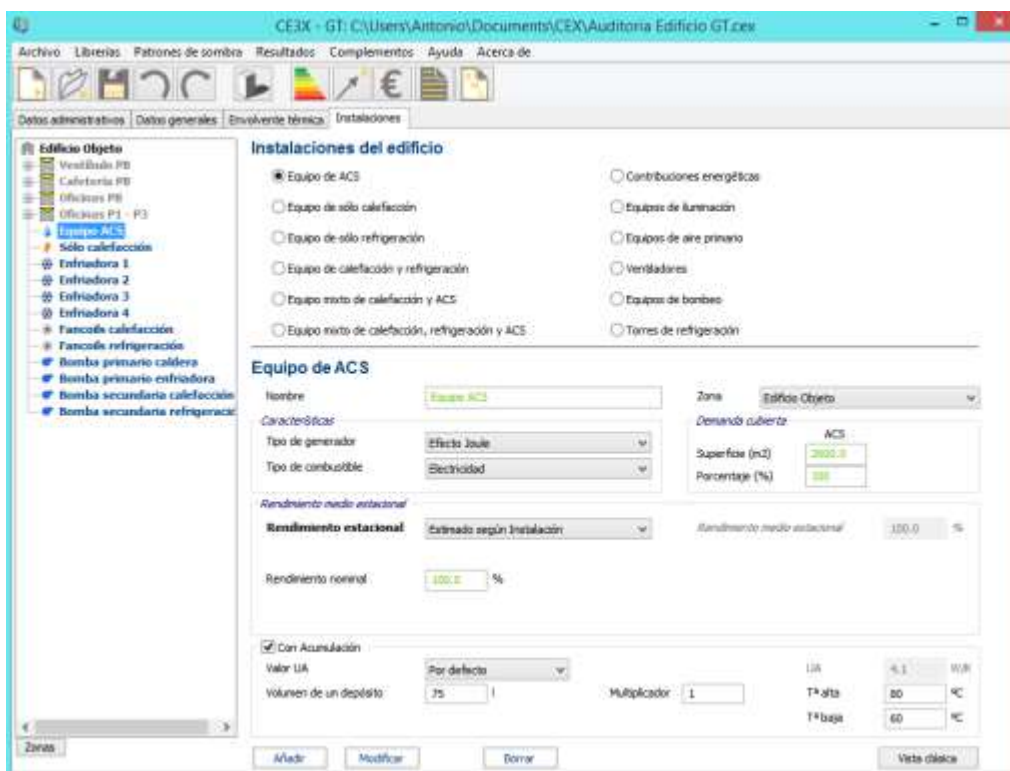


Figura 59 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Equipo de ACS

## Calefacción

A continuación se muestran las características de la instalación de calefacción.

TIPO DE INSTALACIÓN	TIPO DE GENERADOR	TIPO DE COMBUSTIBLE	MODO DE DEFINICIÓN	POTENCIA NOMINAL	RENDIMIENTO NOMINAL	Tº min de impulsión	Tº max de impulsión	Tº salida de agua	FCP mínimo de la caldera	FCP máximo de la caldera
Calefacción	Caldera condensación	Gas Natural	Estimado curva de rendimiento	65X3=195 Kw	#	20º	85º	85º	#	##

Tabla 32 Datos calefacción del edificio

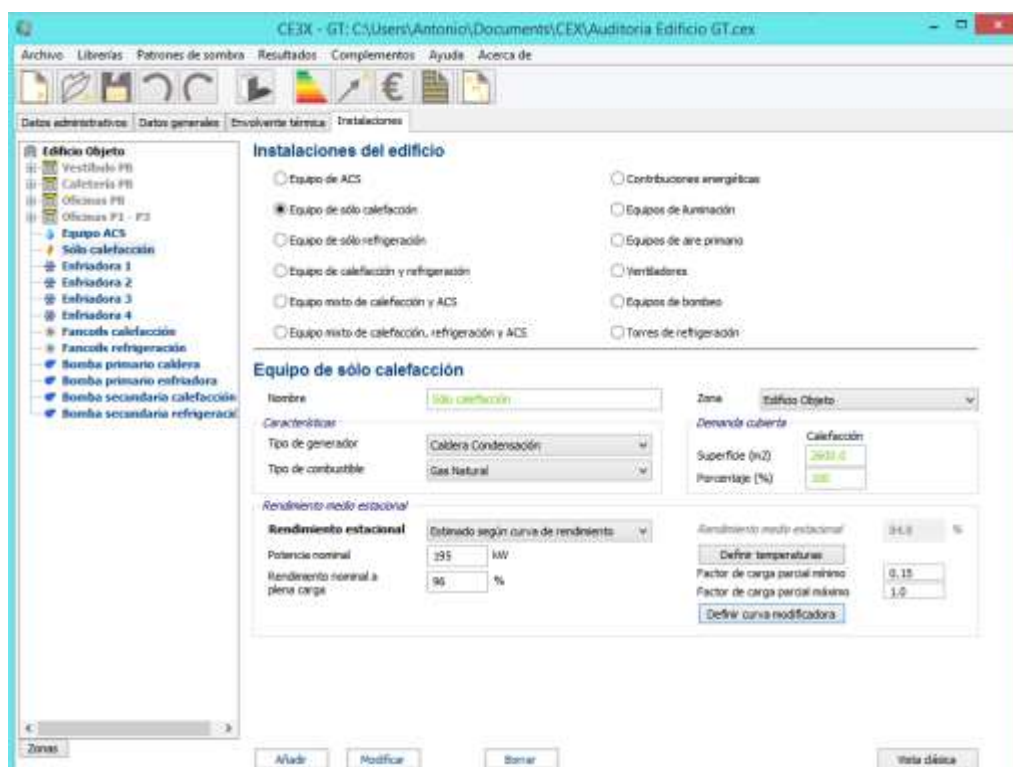


Figura 60 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Equipo de calefacción

Se ha estimado en este caso el rendimiento medio estacional del sistema a partir del rendimiento estacionario de combustión de la caldera, la potencia de la caldera y horario de funcionamiento, según el método descrito en la Guía técnica nº5 del IDEA, “procedimiento de inspección periódica de eficiencia energética para calderas”

## Refrigeración

A continuación se muestran las características de la instalación de refrigeración.

TIPO DE INSTALACIÓN	NOMBRE	TIPO DE GENERADOR	TIPO DE COMBUSTIBLE	MODO DE DEFINICIÓN	POTENCIA TÉRMICA (kW)	EER	ANTIGÜEDAD	CARACTERÍSTICAS	Tº max de impulsión	Tº salida del agua
Equipo solo refrigeración	Enfriadora	Máquina frigorífica	Electricidad	Estimado	133	2%	Más de 10 años	Aire-Agua	85º	80º

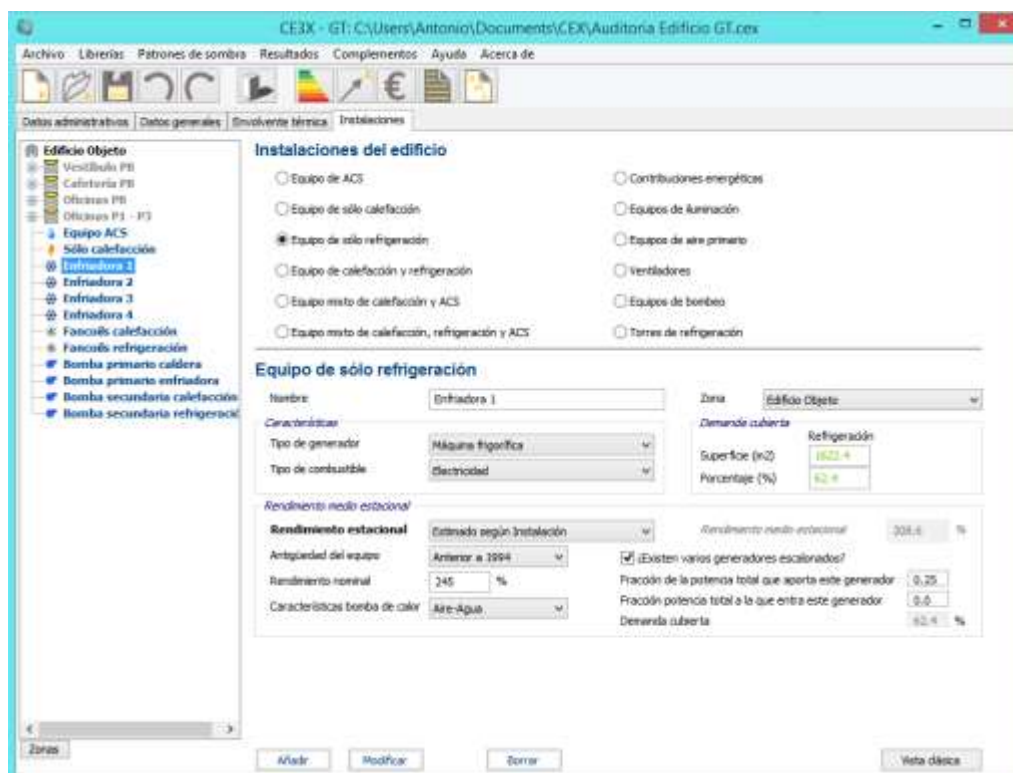


Figura 61 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Equipos de refrigeración

## Equipos de aire primario

A continuación se muestran las características de la instalación de aire primario.

TIPO DE INSTALACIÓN	CAUDAL DE VENTILACIÓN	RECUPERADOR DE CALOR	RENDIMIENTO DEL RECUPERADOR DE CALOR
Equipo aire primario cafetería	2250	Si	75%
Equipo aire primario vestíbulo	750	No	-

Tabla 33 Datos equipos aire primario del edificio

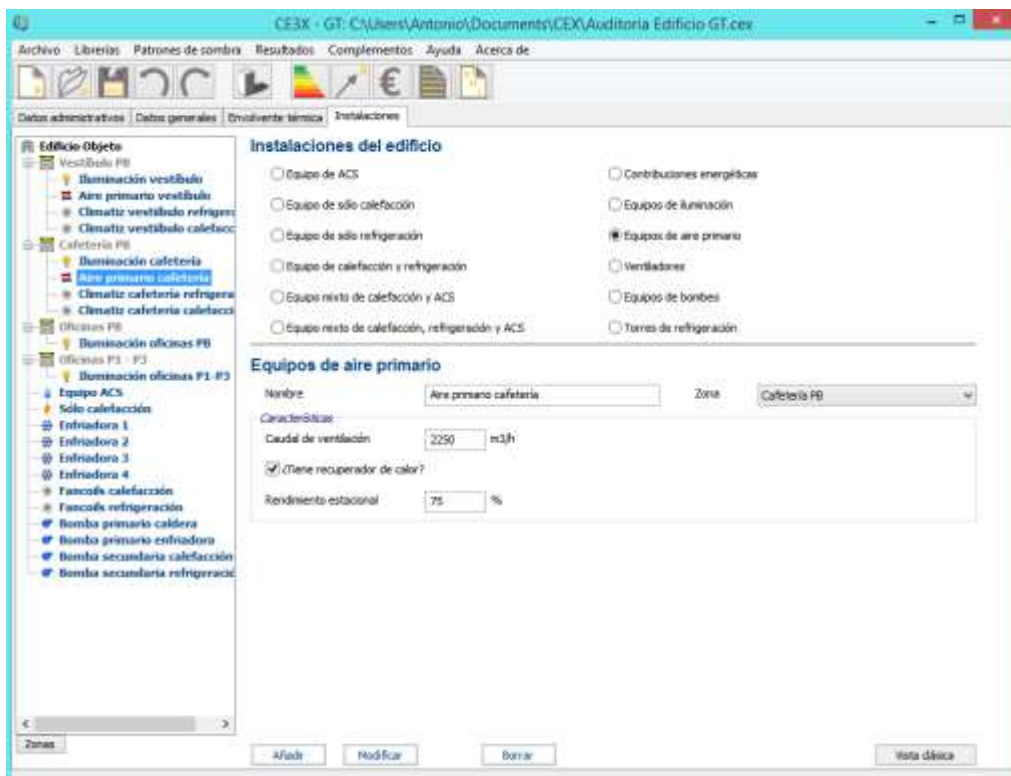


Figura 62 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Equipo de aire primario

## Equipos de ventilación

A continuación se muestran las características de los equipos de ventilación.

TIPO DE INSTALACIÓN	TIPO DE BOMBA	SERVICIO	DEFINICIÓN	(KW)	HORAS DE DEMANDA	FUNCIONA SIN DEMANDA
Ventilador Fancoils	Ventilador caudal constante	Calefacción	Estimado	2,2	1199,6	NO
		Refrigeración			1497,1	
Ventilador climatizador vestíbulo	Ventilador caudal constante	Calefacción	Estimado	2,5	1199,6	NO
		Refrigeración			1497,1	
Ventilador climatizador cafetería	Ventilador caudal constante	Calefacción	Estimado	9	1199,6	NO
		Refrigeración			1497,1	

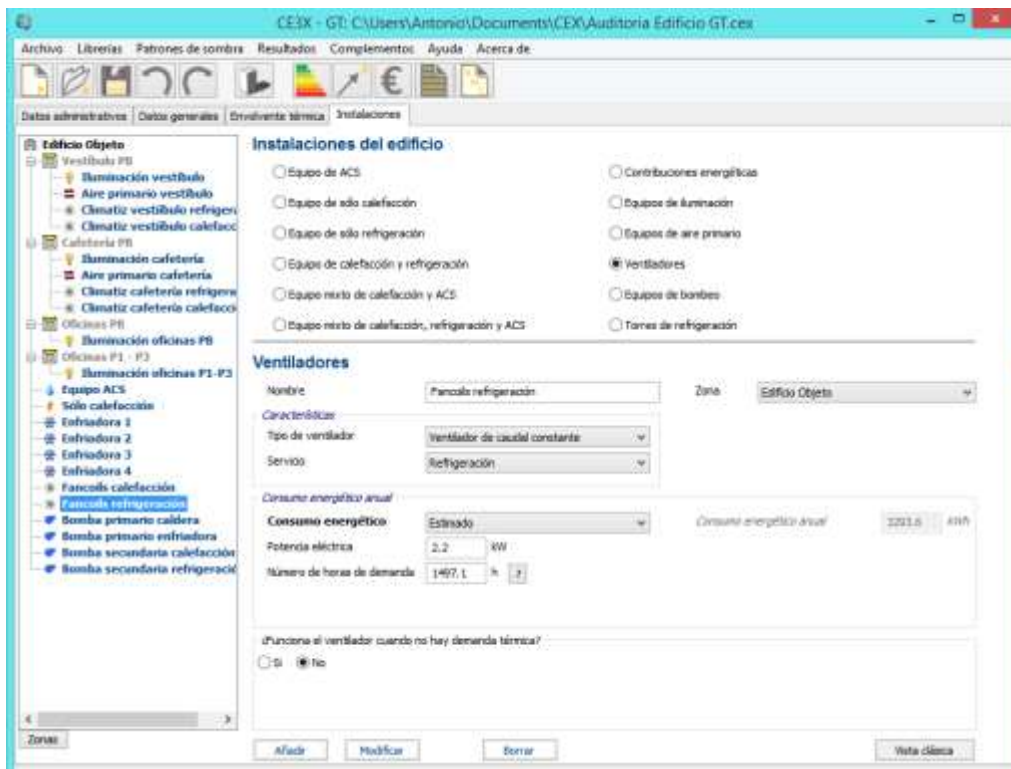


Figura 63 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Climatizadores

## Equipos de bombeo

A continuación se muestran las características de los equipos de bombeo.

TIPO DE INSTALACIÓN	TIPO DE BOMBA	SERVICIO	(KW)	HORAS DE DEMANDA	FUNCIONA CUANDO NO HAY DEMANDA	FUNCIONA CUANDO NO HAY DEMANDA	DURACIÓN TEMPORAL	FRACCIÓN POTENCIA DEMANDA
Bombas primario caldera	Bomba varias velocidades	Calefacción	Estimado	1	1200	Si	1500	0,25
Bombas primario enfriadora	Bomba caudal constante	Refrigeración	Estimado	1,2	1497	Si	1504	1
		Calefacción			1200		1500	
Bombas secundario	Bombas caudal constante	Refrigeración	Estimado	3,5	1497	Si	1504	1



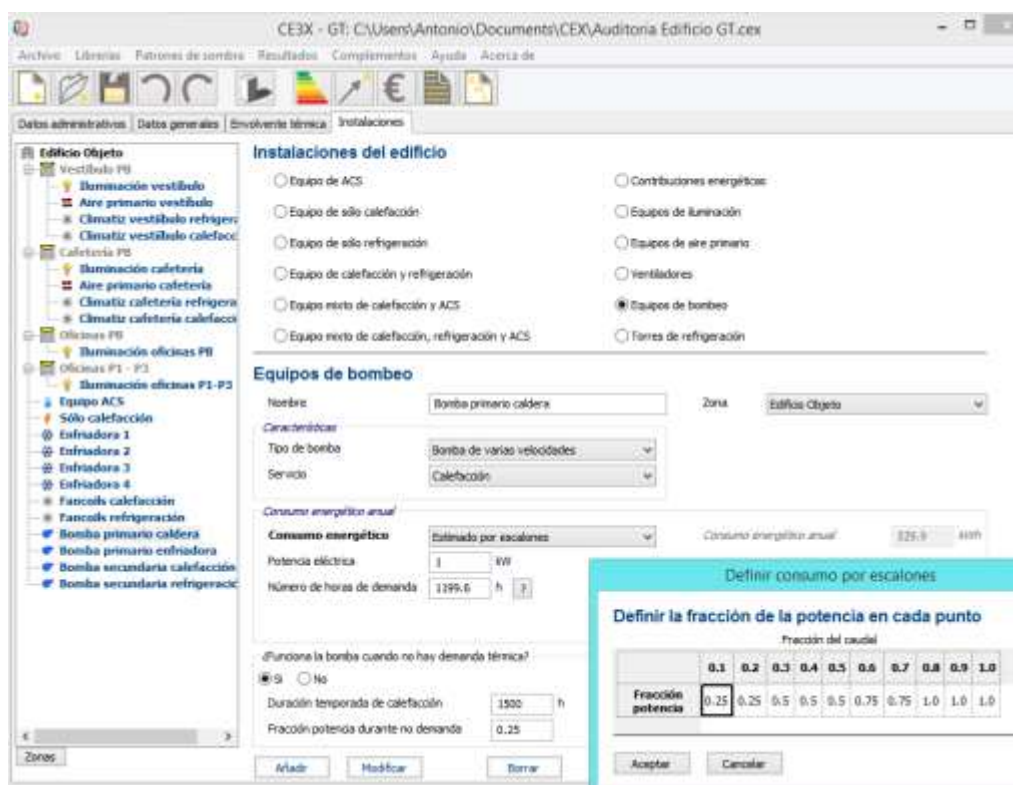


Figura 64 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Equipos de bombeo primario de caldera

Como hay cuatro bombas debemos dividir los diez escalones entre los cuatro escalones, por lo que empezamos en 0,25 y al pasar al punto 0,3 ya tendremos que activar la segunda bomba, al igual que al pasar por el punto 0,6 que debe activarse la tercera bomba (0,75) y así hasta el punto 8 que ya las cuatro bombas están funcionando.

## Illuminación

Para introducir la iluminación del edificio se ha calculado la potencia total instalada y la iluminancia media horizontal de cada zona. La potencia total instalada se ha calculado realizando la suma total de todas las lámparas que hay instaladas en cada zona. En la zona de oficinas se ha calculado de manera estimada donde hay instaladas fluorescentes compactas.

La iluminancia media horizontal se ha realizado con un luxómetro en diferentes puntos de las estancias y se ha realizado una media aritmética para obtener la iluminancia total de cada zona.



Al realizar la medición es muy importante que las persianas estén bajadas para eliminar la influencia de la luz natural y que la medición sea llevada a cabo desde la altura de la zona de trabajo.

TIPO DE INSTALACIÓN	ZONA	POTENCIA (W)	SUPERFICIE	ILUMINACIÓN	ACTIVIDAD	ZONA DE REPRESENTACIÓN	m <sup>2</sup> DE CONTROL
ILUMINACIÓN	VESTÍBULO A	827	75	300 lux	Zonas comunes	NO	-
	CAFETERÍA A	1506	185	350 lux	Hostelería y representación	SI	-
	OFICINAS PB	Fluorescencia compacta	390	500 lux	Salas técnicas	NO	200
	RESTO OFICINAS	Fluorescencia compacta	723	500 lux	Salas técnicas	NO	500

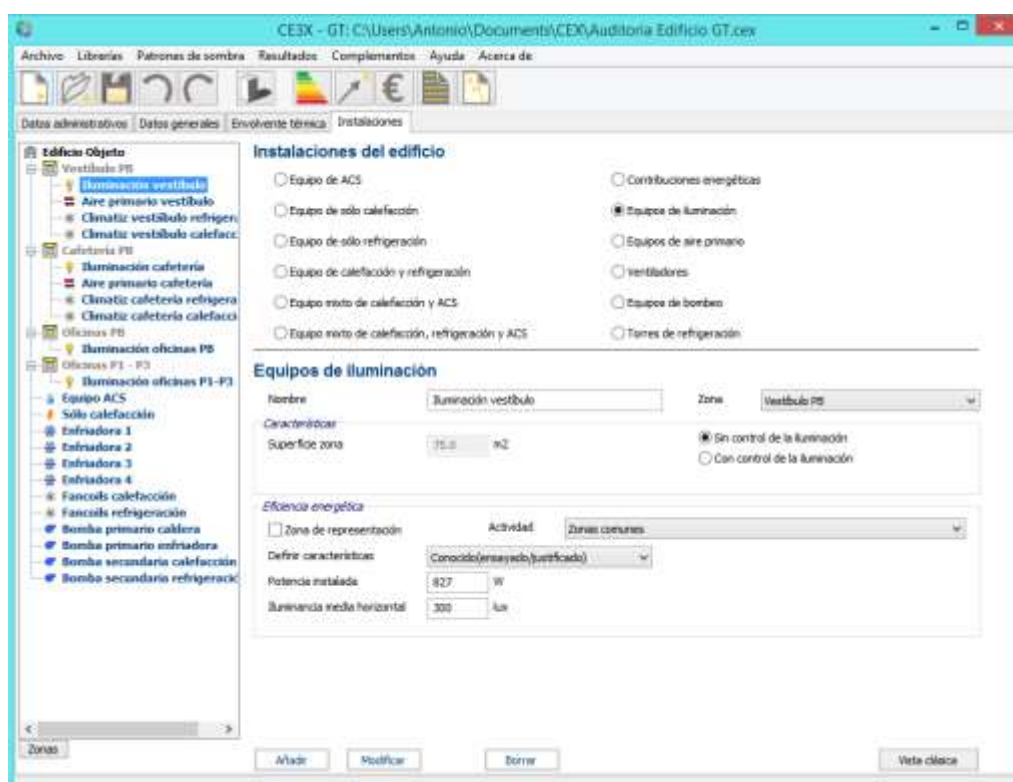


Figura 65 Pantalla de introducción de los datos de las instalaciones. Iluminación Vestíbulo

### 9.3. Obtención de la calificación energética

Una vez introducidos todos los valores necesarios requeridos por el programa, se procede a la calificación energética del edificio pulsando en el siguiente icono:



Figura 66 Pantalla de resultados de la calificación energética

## 9.4. Definición de las medidas de mejora

Se estudian tres tipos de medidas de mejora de eficiencia energética y la combinación de las mismas, agrupándolas en conjuntos de medidas, y de esta manera observar cuál sería el ahorro de energía y su calificación energética correspondiente.

Medidas propuestas:

1. Medida 1: De instalaciones. Inclusión de una caldera de biomasa de 100 KW al sistema de calefacción. Las calderas de gas existentes funcionarán como apoyo a la nueva caldera de biomasa.
2. Medida 2: De instalaciones. Reducción de la potencia instalada en el vestíbulo de 827 W a 400 W y de la cafetería de 1506 W a 750 W.

### 9.4.1. Medida 1. Caldera de biomasa

Se decide dejar la caldera de condensación existente en el edificio como caldera auxiliar para los días en los que la demanda sea superior a la que pueda abastecer la caldera de biomasa de 100 KW.

Se cree conveniente esta propuesta de mejora ya que el edificio posee espacio suficiente para el almacenaje del combustible.

Por tanto, ambas calderas deben cubrir una demanda total del 100%, estimando que la de biomasa satisfaga el 81% y la existente de condensación el 19%.

**Cuadro incluir mejoras en Calefacción**

**Medida de mejora en la instalación de calefacción**

Nombre:  Zona:

**Características**

Tipo de generador:

Tipo de combustible:

**Demanda cubierta**

Calefacción

Superficie (m<sup>2</sup>):

Porcentaje (%):

**Rendimiento medio estacional**

Rendimiento estacional:  Rendimiento medio estacional:  %

Potencia nominal:  kW

Carga media real fcomb:  ? Aislamiento de la caldera:

Rendimiento de combustión:  %

Figura 67 Cuadro de medida de mejora en la instalación de calefacción. Medida 1: definición de la caldera de biomasa

**Cuadro incluir mejoras en Calefacción**

**Medida de mejora en la instalación de calefacción**

Nombre:  Zona:

**Características**

Tipo de generador:

Tipo de combustible:

**Demanda cubierta**

Calefacción

Superficie (m<sup>2</sup>):

Porcentaje (%):

**Rendimiento medio estacional**

Rendimiento estacional:  Rendimiento medio estacional:  %

Potencia nominal:  kW

Rendimiento nominal a plena carga:  %

Factor de carga parcial mínimo:

Factor de carga parcial máximo:

Figura 68 Cuadro de medida de mejora en la instalación de calefacción. Medida 1: Definición de la caldera de gas de apoyo

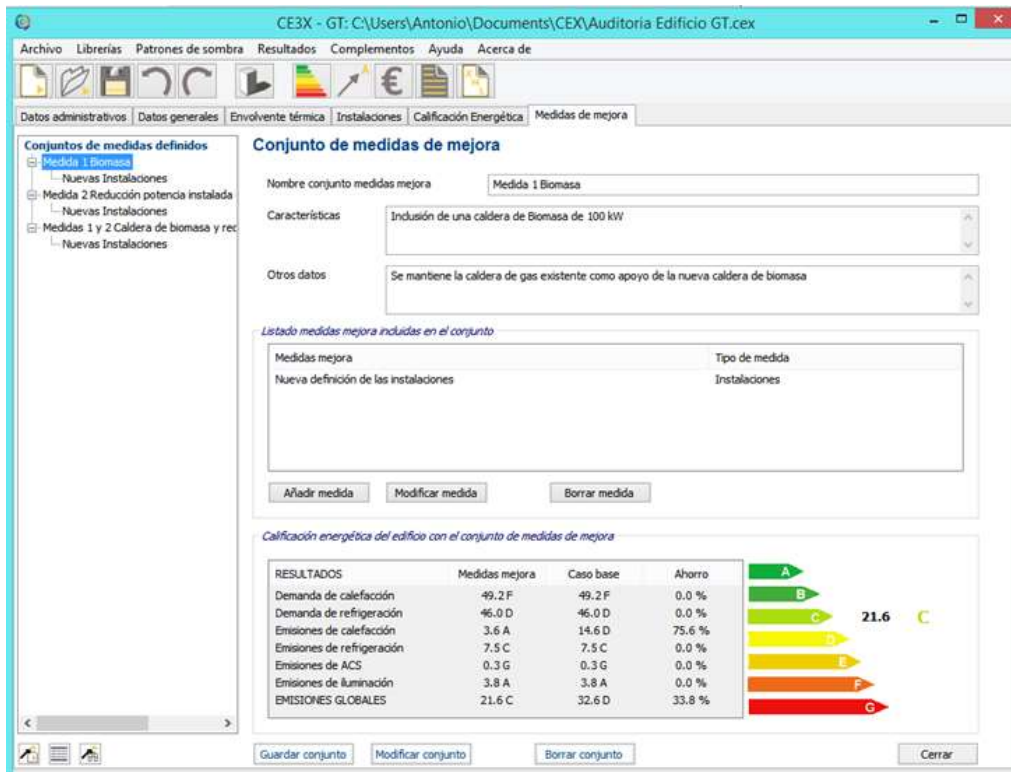


Figura 69 Calificación obtenida tras medida 1

La calificación obtenida con esta medida nos mejora la calificación a C.

#### 9.4.2. Medida 2. Reducción de la potencia instalada en iluminación.

**Cuadro incluir mejoras en Iluminación**

**Medida de mejora en el equipo de iluminación**

Nombre: Iluminación vestibulo

Zona: Vestibulo PB

Características:

Superficie zona: 75.0 m2

Sin control de la iluminación  
 Con control de la iluminación

Eficiencia energética:

Zona de representación

Actividad: Zonas comunes

Definir características: Conocido(ensayado/justificado)

Potencia instalada: 400 W

Iluminancia media horizontal: 300 lux

Aceptar Cancelar

Figura 70 Cuadro de medida de mejora en la instalación de iluminación. Vestíbulo

Cuadro incluir mejoras en Iluminación

**Medida de mejora en el equipo de iluminación**

Nombre:  Zona: Cafetería PB

*Características*

Superficie zona:  m2

Sin control de la iluminación  
 Con control de la iluminación

*Eficiencia energética*

Zona de representación Actividad: Hostelería y restauración

Definir características:

Potencia instalada:  W

Iluminancia media horizontal:  lux

Figura 71 Cuadro de medida de mejora en la instalación de iluminación. Cafetería

CE3X - GT: C:\Users\Antonio\Documents\CEX\Auditoria Edificio GT.cex

Archivo Librerías Patrones de sombra Resultados Complementos Ayuda Acerca de

Datos administrativos Datos generales Entorno térmico Instalaciones Calificación energética Medidas de mejora

**Conjuntos de medidas definidos**

- Medida 1 Biorresaca
  - Nuevas Instalaciones
- Medida 2 Reducción potencia instalada**
  - Nuevas Instalaciones
- Medidas 1 y 2 Caldera de biomasa y nri
  - Nuevas Instalaciones

**Conjunto de medidas de mejora**

Nombre conjunto medidas mejora: Medida 2 Reducción potencia instalada iluminación

Características: Reducción de la potencia de iluminación instalada en el vestíbulo y en la cafetería.

Otros datos: Vestíbulo: 827 W -> 400 W  
Cafetería: 1506 W -> 750 W

**Estado medidas mejora incluir en el conjunto**

Medidas mejora	Tipo de medida
Nueva definición de las instalaciones	Instalaciones

**Calificación energética del edificio con el conjunto de medidas de mejora**

RESULTADOS	Medidas mejora	Caso base	Ahorro
Demanda de calefacción	-46,7 F	-49,2 F	-1,0 %
Demanda de refrigeración	45,8 D	46,0 D	-1,0 %
Emissiones de calefacción	14,8 D	14,6 D	-1,0 %
Emissiones de refrigeración	7,4 C	7,5 C	-1,0 %
Emissiones de ACS	0,3 G	0,3 G	0,0 %
Emissiones de iluminación	3,3 A	3,8 A	13,3 %
<b>EMISIONES GLOBALES</b>	<b>32,2 D</b>	<b>32,6 D</b>	<b>-1,4 %</b>

32.2

Figura 72 Calificación obtenida tras medida 2

La calificación no cambia, pero mejoramos la escala. Podemos comprobar que la demanda de calefacción sale negativa debido a la menor aportación de cargas internas al bajar la potencia instalada.

### 9.4.3. Conjunto de las medidas anteriores

Para este conjunto de medidas lo iniciamos desde la medida 1 y le añadimos la medida 2. Para ellos una vez tenemos la pantalla que se muestra a continuación, debemos modificar la medida que ya estaba definida para la instalación de biomasa porque el programa no permite introducir dos medidas en instalaciones por separado.

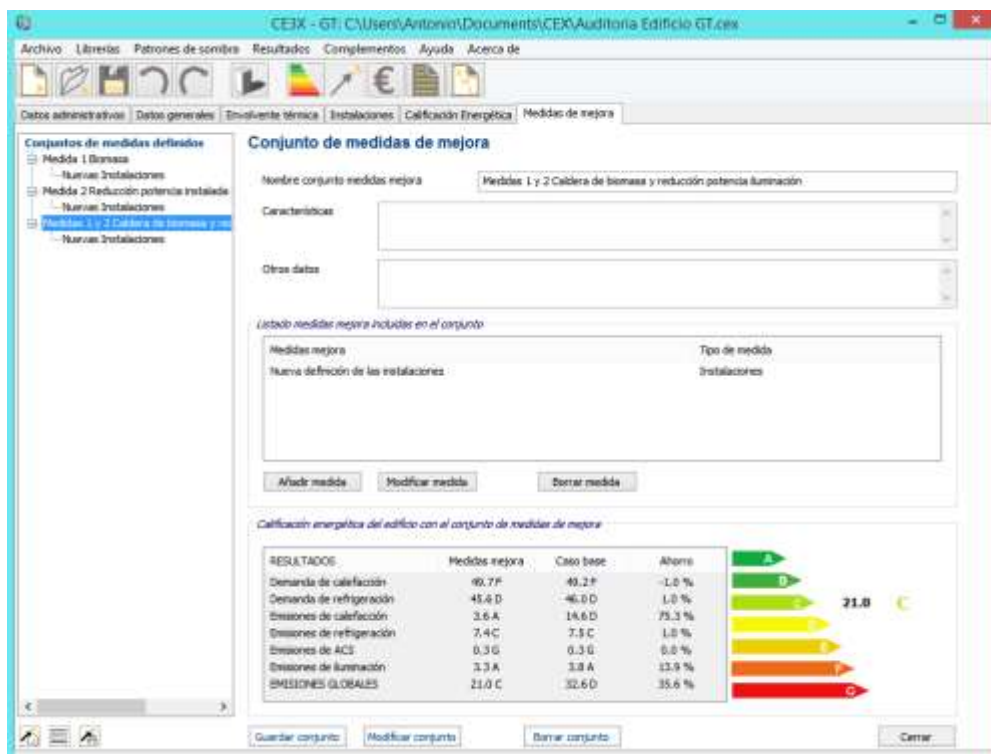


Figura 73 Calificación obtenida tras la aplicación de las medidas anteriores

## 9.5. Análisis económico

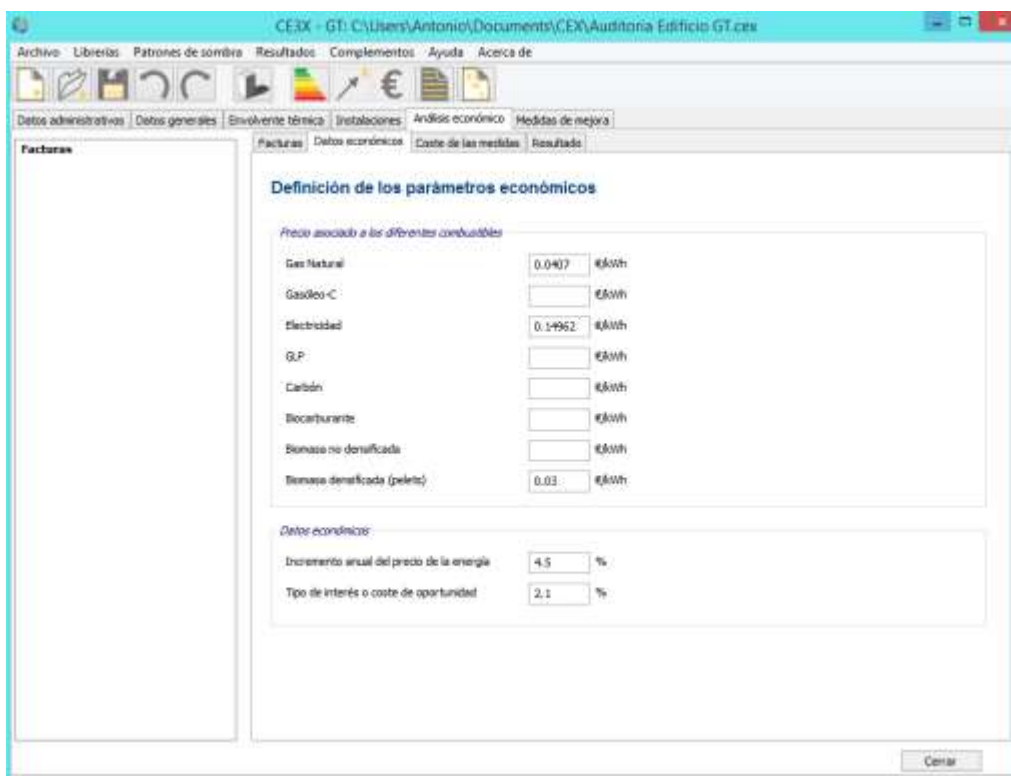
A continuación se muestran parámetros económicos y precios de la energía necesarios para hacer la simulación de la viabilidad de las medidas propuestas:

PARÁMETROS ECONÓMICOS	%
incremento anual del precio de la energía	4
Tipo de interés	2,1

Tabla 34 Parámetros económicos

PRECIO DE LA ENERGÍA	€/KW
Gas natural	0,047
Biomasa	0,14962
Electricidad	0,03

Tabla 35 Precio de la energía



**Figura 74 Pantalla de introducción de los datos económicos**

En la siguiente tabla se muestran los costes económicos de las medidas propuestas así como su vida útil:

NOMBRE DE LA MEDIDA	COSTE DE LA MEDIDA	VIDA ÚTIL (AÑOS)
MEDIDA 1	19.540 €	20
MEDIDA 2	4.000 €	20

**Tabla 36 Costes económicos de las medidas propuestas**

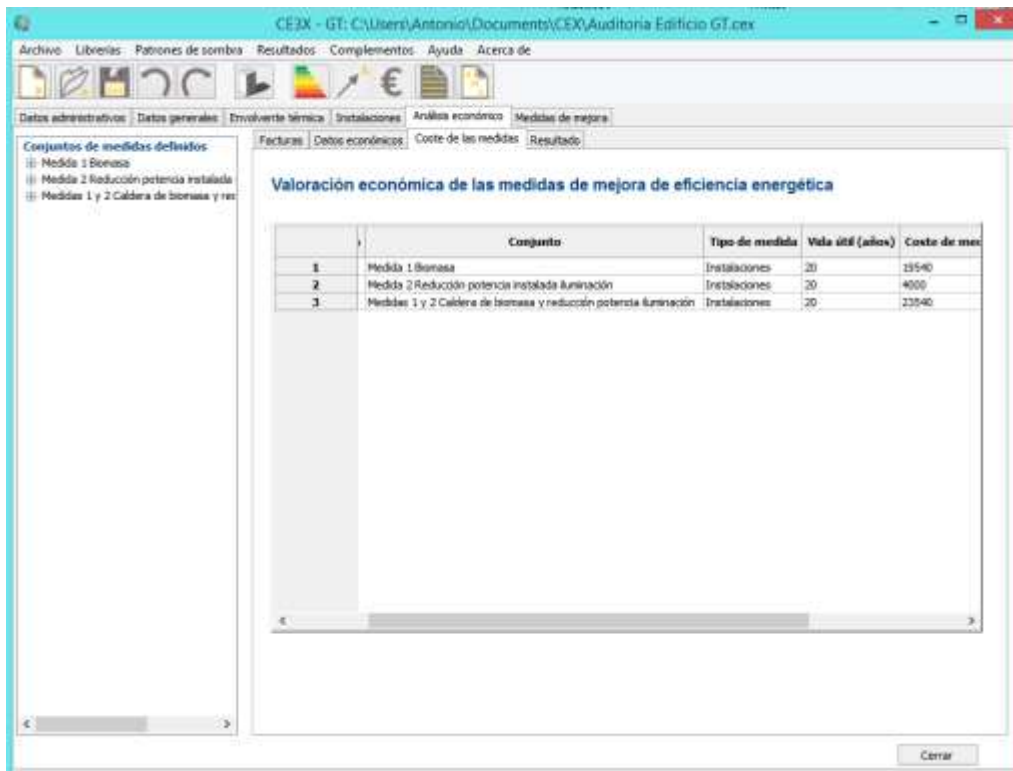


Figura 75 Pantalla de introducción de los costes de las medidas

En la medida 3 se ha sumado el coste de las dos medidas de instalaciones, la caldera de biomasa y la reducción de la potencia instalada al cambio de bombillas.

En la pestaña de resultados aparece el VAN (Valor Actual Neto) y el plazo de amortización, que son calculados por el programa.

Al no introducir las facturas el programa avisa que el análisis económico será teórico.



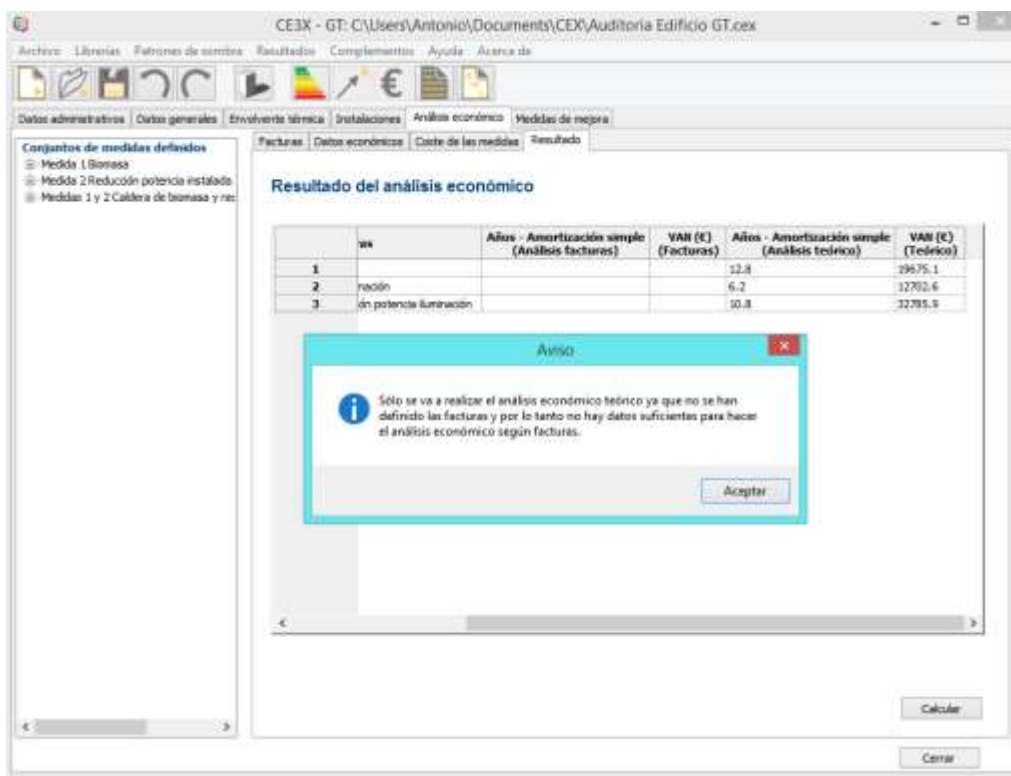


Figura 76 Pantalla de advertencia de resultado teórico

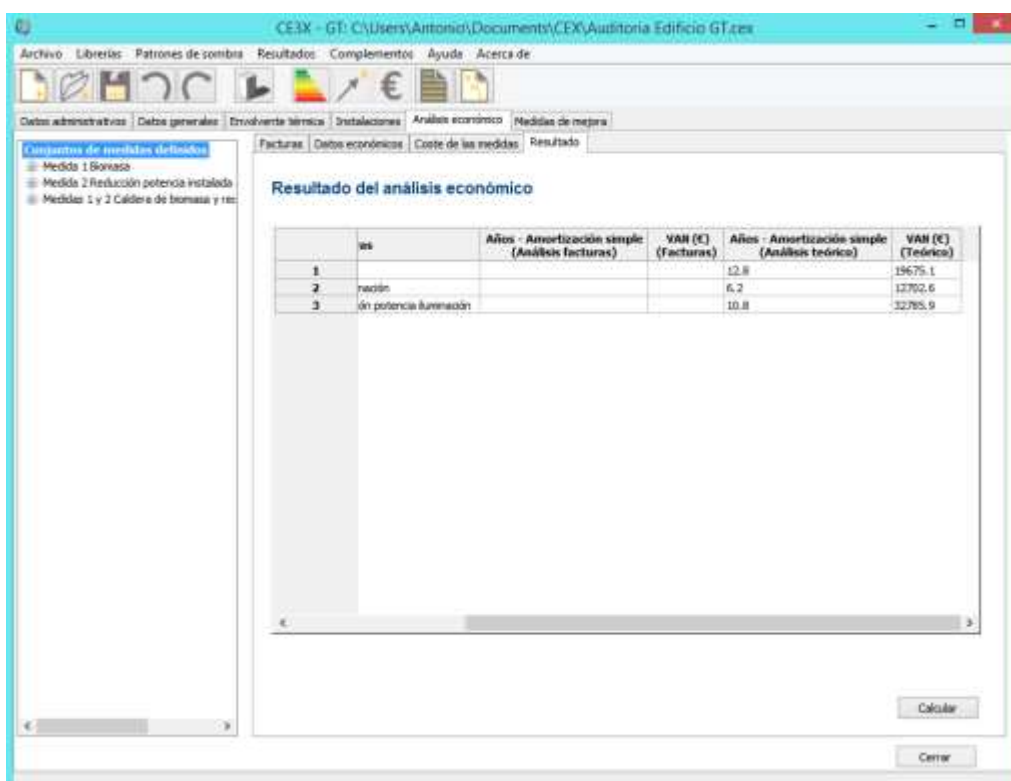


Figura 77 Análisis económico de las medidas propuestas

El programa utiliza la siguiente fórmula para proporcionar el plazo en el que recuperamos la inversión inicial a través de los flujos de caja netos, ingresos menos gastos, obtenidos en el proyecto.

$$\text{Periodo de retorno} = \sum_i^n \frac{\text{Vida útil}_{\text{más longeva}}}{\text{Vida útil}} \times \text{Coste}_i$$

Consta en dividir la inversión inicial más los gastos que origine entre los distintos flujos de caja positivos que origina el proyecto.

El VAN (Valor Actual Neto) nos proporciona una valoración financiera en el momento actual de los flujos de caja netos proporcionados por la inversión.

$$\text{VAN} = \text{Ahorros futuros} - \text{Inversión}$$

Siendo ahorros futuros:

$$\text{Ahorros futuros} = \sum_n^{\text{Vida útil}_{\text{más longeva}}} \frac{(1 + i_{\text{energía}})^n}{(1 + i_{\text{descuento}})^n} \times \text{Ahorro económico anual}$$

El programa nos indica que el VAN, al ser positivo, el ahorro es superior a al coste de la inversión, siendo 10,8 años el tiempo necesario para recuperar la inversión. Habría que explicárselo al cliente y el valoraría su aplicación o no.

## 9.6. Informe generado por CE3X

Se adjunta el pdf que genera el programa

# Bibliografía

- (IDAE), M. G. (2013). *La certificación energética de edificios*.
- ASEFOSAM. (2016). *Aeroterminia aplicada a instalaciones térmicas*.
- ASEFOSAM. (2016). *Instalaciones de climatización industrial*.
- ASHRAE [American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning]. (2001). *HVAC Fundamentals Handbook*.
- BOE. (2013). Real Decreto 235/2013 Por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. BOE.
- EREN Ente regional de la energía de Castilla y León. (2011). *Manual de procedimiento para la realización de auditorías energéticas en edificios*.
- FENERCOM. (2011). *Guía de auditorías energéticas en centros docentes*.
- FENERCOM. (2015). *Guía sobre tecnología LED en el alumbrado*.
- Francisco Javier Rey Martinez, E. V. (2006). *Eficiencia energética en edificios. Certificación y auditorías energéticas*. Paraninfo.
- Gas Natural Fenosa. (2010). *Resumen de los estudios realizados en el campus de la UAH*.
- Gas Natural Fenosa. (2012). *Informe de estudio termográfico en los edificios de UAH*.
- IDAE. (2008). *Guía técnica. Instalaciones de climatización con equipos autónomos*.
- IDAE. (2009). *LIDER: HE1 Limitación de la demanda en energía. Manual de usuario*.
- IDAE. (2011). *Guía técnica. Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*.
- IDAE. (2013). *CALENER-GT: Grandes edificios terciarios. Manual de usuario*.
- IDAE. (2013). *Escala de calificación energética*.
- Ministerio de industria energía y turismo. (2013). *Registro de documentos reconocidos: Normativa y modelos de utilización*. Obtenido de

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/EficienciaEnergetica/CertificacionEnergetica/DocumentosReconocidos/>

Ministerio de industria energia y turismo. (2013). *Registro de documentos reconocidos; Datos Meteorológicos*.

Parlamento Europeo y del Consejo. (2002). Directiva 2012/27/UE Relativa a la eficiencia energética.

## Enlaces

- **Instituto para la Diversificación y el ahorro de Energía (IDAE)**

El instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, IDAE, es una Entidad Pública Empresarial, adscrita al Ministerio de Industria, Energía y turismo, a través de la Secretaría de Estado de energía, de quien depende orgánicamente. La consecución de los objetivos que marcan las planificaciones referidas al ahorro y a la eficiencia energética; y a las energías renovables constituyen el marco estratégico de su actividad.

[www.idae.es](http://www.idae.es)

- **Ministerio de Industria, Comercio y Turismo**

Organismo regulador de la certificación energética de edificios. Catálogo de documentos reconocidos para la certificación energética.

<http://www.minetur.gob.es/energia/desarrollo/eficienciaenergetica/certificacionenergetica/documentosreconocidos/paginas/documentosreconocidos.aspx>

- **Tarifas eléctricas vigentes.**

Este enlace es del Ministerio de Industria, Comercio, y Turismo y se recopila la normativa actualizada acerca de las tarifas eléctricas vigentes.

<http://www.minetur.gob.es/energia/electricidad/tarifas/tarifas2008/paginas/inicio.aspx>

- **Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética**

La Plataforma Tecnológica Española de Eficiencia Energética tiene como finalidad la innovación en tecnología de eficiencia energética, generando nuevas soluciones a través del impulso de la investigación y el desarrollo de las nuevas técnicas, los productos, y los servicios que contribuyan a la reducción de la demanda energética gracias a su eficiencia energética.

<http://www.ptee-ee.org/>

- **Asociación de Empresas de Eficiencia Energética (A3E)**

La Asociación de Empresas de Eficiencia Energética A3E es una organización sin ánimo de lucro que en la actualidad agrupa a 60 empresas, entidades y organismos colaboradores que desarrollan su actividad total o parcialmente en el ámbito de la eficiencia energética, ya sea a nivel local, nacional o internacional.

<http://www.asociacion3e.org>

- **Centro de Investigaciones Energéticas Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT). Área Científico Técnica de Eficiencia Energética**

Área de investigación tecnológica dedicada básicamente a la eficiencia energética en edificios.

<http://www.ciemat.es/cargarLineaInvestigacion.do?identificador=6&idArea=1>

- **Centro Nacional de Energías Renovables (CENER)**

Dedicación similar al CIEMAT, patrono de la fundación.

<http://www.cener.com/es/energetica-edificatoria/index.asp>

- **Descarga del programa DIALUX**

En este sitio se puede descargar el programa de simulación lumínica DIALUX.

<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>

- **Comisión Nacional de la Energía (CNE)**

Este organismo, entre otras funciones, sigue de forma continua la evolución del mercado energético, así como realiza previsiones de evolución del mismo.

<http://www.cne.es/cne/Home>

- **DIRECTIVA 2002/91/CE DEL PARLAMENTO EUROPEO Y DEL CONSEJO de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.**

Desarrollo de las exigencias para los estados miembros para el aumento de la eficiencia energética en edificios.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2003:001:0065:0065:ES:PDF>

- **Real Decreto 3124/2006, por el que se aprueba el Código Técnico de la edificación.**

Desarrollo normativo para la construcción de edificios alcanzando todos los aspectos a tener en consideración.

<http://www.boe.es/boe/dias/2006/03/28/pdfs/A11816-11831.pdf>

- **Documento Básico de Ahorro de Energía del CTE (DB-HE)**

Desarrollo técnico-normativo del documento de ahorro de energía en edificios donde se contemplan las exigencias de calidad de edificación, calidad de las instalaciones térmicas, instalaciones de iluminación y el uso de energías solar (térmica y fotovoltaica en edificios)

[http://www.boe.es/boe\\_catalan/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511-C.pdf](http://www.boe.es/boe_catalan/dias/2013/09/12/pdfs/BOE-A-2013-9511-C.pdf)

- **Real decreto 235/2013 por el que se aprueba el procedimiento de certificación energética de edificios de nueva construcción.**

Desarrollo normativo para la certificación energética de edificios de nueva construcción basándose en los documentos reconocidos del ministerio.

<http://www.boe.es/boe/dias/2013/04/13/pdfs/BOE-A-2013-3904.pdf>

- **Real decreto 1027/2007 por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Energéticas en los edificios.**

Desarrollo técnico normativo que rige las instalaciones térmicas en edificios especialmente en el apartado de eficiencia energética.

<http://www.boe.es/boe/dias/2007/08/29/pdfs/A35931-35984.pdf>

- **Guía de buenas prácticas de eficiencia energética en edificación.**  
Documento que repasa los aspectos fundamentales para la realización de proyectos de edificios con alta eficiencia energética.  
<http://pagina.jccm.es/medioambiente/publicaciones/guias/MBAedificacion.pdf>
  
- **Calderas de alta eficiencia Viessmann**  
En esta página se describe la tecnología y las características técnicas de las calderas de condensación y baja temperatura.  
<http://www.viessmann.es>