
*ANÁLISIS Y COMPARACIÓN DE
CALDERA DE BIOMASA FRENTE A
CALDERA DE GAS EN
CALEFACCIÓN*

Grado en Ingeniería mecánica

AUTOR: Barrio Cortés, Adrián

TUTOR: Sánchez Delgado, Sergio

Índice

Índice de ilustraciones	4
1. Introducción.....	5
2. Motivaciones	6
3. Objetivos.....	7
4. Estado del arte	10
5. Normativa y localización.....	11
6. Cálculo de cargas térmicas	13
6.1. Temperatura operativa y humedad relativa.....	13
6.2. Velocidad media del aire en la zona ocupada.....	14
6.3. Condiciones exteriores.....	14
6.4. Caracterización de la vivienda.....	15
6.4.1. Metros cuadrados del hotel y huecos:	15
6.4.2. Orientación	16
6.4.3. Número de ocupantes	18
6.4.4. Zona térmica del emplazamiento.....	19
6.4.5. Clasificación de los espacios	20
6.5. Envolvente térmica	20
6.5.1. Cerramiento exterior.....	21
6.5.2. Cerramiento interior	22
6.5.3. Forjado interior.....	23
6.5.4. Suelo	24
6.5.5. Cubierta	25
6.5.6. Ventanas y puertas.....	26
6.6. Estudio de cargas	30
6.6.1. Cargas térmicas de calefacción	31
6.6.1.1. Carga térmica de transmisión	31
6.6.1.2. Carga térmica de ventilación	32
6.6.2. Resultados.....	33
6.6.2.1. Habitación 1	33
6.6.2.2. Habitación 2	34
6.6.2.3. Sala de calderas.....	34

6.6.2.4.	Sala de contadores	35
6.6.2.5.	Recibidor.....	35
6.6.2.6.	Habitación 3	36
6.6.2.7.	Habitación 4.....	36
6.6.2.8.	Habitación 5	37
6.6.2.9.	Habitación 6.....	38
6.6.2.10.	Habitación 7	38
6.6.2.11.	Pasillo superior.....	39
6.6.2.12.	Carga térmica total	39
7.	Caldera de gas natural.....	40
7.1.	Funcionamiento	41
7.2.	Diseño	42
7.2.1.	Circuito hidráulico de calefacción.....	42
7.3.	Condensados	44
7.4.	Humos.....	46
7.5.	Rendimientos	47
7.5.1.	Rendimiento útil nominal.....	47
7.5.2.	Rendimiento estacional.....	48
7.6.	Instalación.....	49
8.	Caldera de biomasa.....	50
8.1.	La biomasa.....	50
8.1.1.	Argumentos a favor (29).....	51
8.1.2.	Argumentos en contra (29).....	51
8.2.	Funcionamiento	51
8.3.	Como elegir el modelo.....	53
8.4.	Ventajas de una caldera de biomasa	55
8.5.	Desventajas de las calderas de biomasa.....	55
9.	Evaluación económica.....	56
9.1.	Modelos elegidos	56
9.2.	Coste del combustible.....	58
9.2.1.	Combustible de la caldera de condensación	59
9.2.2.	Combustible de la caldera de biomasa	60
9.2.3.	Comparativa final	60
10.	Evaluación medioambiental	62

10.1.	Caldera de condensación.....	62
10.2.	Caldera de biomasa	63
10.3.	Comparativa final.....	63
11.	Resultados: comparación.....	64
12.	Factor socioeconómico	65
13.	Conclusión.....	66
14.	Bibliografía.....	68

Índice de ilustraciones

Ilustración 1: comparativa evolución emisiones entre países desarrollados y emergentes	5
Ilustración 2: planta baja casa rural	8
Ilustración 3: planta alta casa rural	9
Ilustración 4: temperaturas mensuales de Toledo	11
Ilustración 5: orientación planta baja.....	17
Ilustración 6: orientación planta alta	18
Ilustración 7: tabla B.1. del DBHE para la elección de la zona climática.....	19
Ilustración 8: características de la zona climática C4.....	20
Ilustración 9: tabla 1 del DA-DB-HE-1 para las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior.	21
Ilustración 10: tabla 2.12. del NBE-CT-79	27
Ilustración 11: tabla 13 de DA-DB-HE-1 para el factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo.....	29
Ilustración 12: tabla 11 del DA-DB-HE-1 para la absortividad del marco para radiación solar α	30
Ilustración 13: caldera de gas natural de condensación frente a caldera tradicional de gas natural	41
Ilustración 14: error por conexión de válvula mezcladora	43
Ilustración 15: esquema circuito de impulsión y circuito de retorno	43
Ilustración 16: comparativa de la influencia del salto térmico del agua circulante.....	44
Ilustración 17: esquema del circuito de evacuación de condensados.....	45
Ilustración 18: ejemplo de salida de humos en calderas de condensación	47
Ilustración 19: pérdidas de disposición en servicio	48
Ilustración 20: proporción de los tiempos con quemador de una marcha	48
Ilustración 21: proporción de los tiempos con quemador de dos marchas.....	49
Ilustración 22: ejemplo de biomasa	50
Ilustración 23: ejemplo de quemador de biomasa	52
Ilustración 24: caldera de pellet de baja potencia.....	54
Ilustración 25: quemador de pellet de alta potencia	54
Ilustración 26: modelo de caldera de gas natural elegida.....	57
Ilustración 27: modelo de caldera de biomasa elegida	58

1. Introducción

En la actualidad, la contaminación se ha convertido en un tema fundamental y de una importancia elevada por ello se buscan multitud de soluciones para paliar las emisiones de gases nocivos para la atmósfera.

Muchos son los protocolos creados para combatir dichas emisiones, como por ejemplo el protocolo de Kyoto en el que se regulan las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero) de cada país (1).

También destaca el protocolo de Montreal en el que, de la misma manera, se regula la emisión de toda sustancia que ataque a la capa de ozono y la debilite. En particular se centra en la eliminación de emisiones de CFC's (Clorofluorocarbonos) y los HCFC's (Hidroclorofluorocarburos) (2).

Todo esto es necesario debido al panorama actual debido al gran desarrollo que están experimentando los países emergentes como por ejemplo China o India. Estos países están sufriendo un desarrollo a gran velocidad que desemboca en una mayor industria, y por tanto, en unas emisiones mayores.

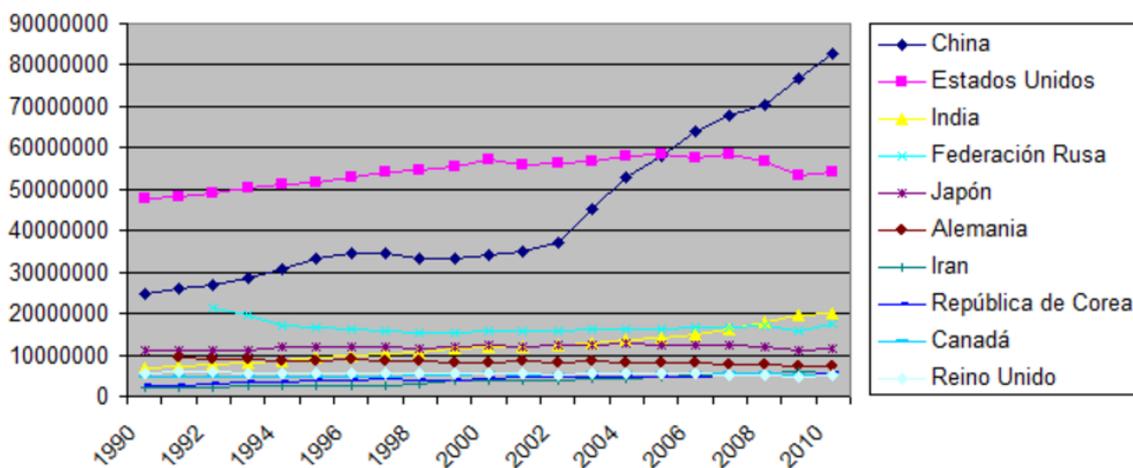


Ilustración 1: comparativa evolución emisiones entre países desarrollados y emergentes

Como se puede observar en el gráfico, los países desarrollados suelen mantener sus emisiones mientras que los emergentes tienen una tendencia ascendente.

La legislación se ha vuelto más severa en cuanto a las exigencias en industrias y todo tipo de instalaciones. Por tanto resulta conveniente barajar otras vías de obtención de energía, es decir, tener en cuenta otros tipos de fuentes de energía.

En España, en el ámbito de la calefacción, las fuentes de energía más usadas son la electricidad (46%) y el gas natural (32%) según el IDAE (3). Este porcentaje representa toda la península, sin embargo el reparto no es igual en todas las regiones. En la zona mediterránea se utiliza más la electricidad mientras que en la zona continental predomina el uso de gas natural. Esto también se debe a la antigüedad de las instalaciones, las cuales en el interior peninsular son más antiguas que en la zona mediterránea.

Según la WWF (World Wildlife Fund for Nature), la mayoría de hogares españoles podrían tener un mayor rendimiento energético si se invierte en una rehabilitación energética de los mismos. El residencial produce en la actualidad el 66% de las emisiones del sector de la edificación. Esto pasa por el uso de otros tipos de fuentes de energía, es ahí donde entran en escena las energías renovables que ofrecen una energía limpia que ayuda a disminuir las emisiones de gases nocivos (4).

Por todo esto se debe comprender que en la actualidad, la vía de una energía alternativa no es solo una realidad, sino también una obligación de la sociedad. Para demostrar las prestaciones que se pueden conseguir haciendo uso de estas energías, se va a realizar la siguiente comparativa entre las calderas impulsadas por gas natural y las impulsadas por biomasa.

2. Motivaciones

Los motivos principales para este proyecto son la búsqueda de nuevos métodos de obtención de energía y la reducción de las emisiones de los hogares.

En el panorama actual nos encontramos en un punto de crecimiento exponencial. El número de habitantes no para de aumentar, y por tanto el de viviendas. Si el consumo medio de combustibles fósiles (y las emisiones que conllevan) por habitante se mantiene, la situación acabará siendo insostenible.

Se debe comprender que el ahorro energético es un deber y no un capricho. Los combustibles fósiles no son una fuente infinita de energía y por ello se deben abrir los horizontes y dar paso a otras alternativas como la energía eólica, solar, hidráulica o biomasa.

3. Objetivos

En la actualidad un aspecto que preocupa enormemente son las emisiones de GEI (Gases de Efecto Invernadero). En el año 2015, los datos obtenidos por el gobierno de España, señalan que las emisiones de estos gases tuvieron los siguientes valores (5):

Material generado	Cantidad generada
SO _x (t)	821.860
NO _x (t)	1.600.422
COVNM (t)	624.579
CH ₄ (t)	1.549.044
CO (t)	1.898.829
CO ₂ (kt)	310.286
NO ₂ (t)	55.421
NH ₃ (t)	47.7768
SF ₆ (kg)	9.726
HFC (kg)	3.905.919
PFC (kg)	11.334

De estos datos, si extraemos las emisiones debidas a la combustión para la generación y la transformación de energía se obtienen los siguientes datos (5):

Material generado	Cantidad generada
SO _x (t)	145.830
NO _x (t)	176.090
COVNM (t)	2.830
CH ₄ (t)	3.898
CO (t)	26.871
CO ₂ (kt)	84.592
NO ₂ (t)	1.154
NH ₃ (t)	80
SF ₆ (kg)	0
HFC (kg)	0
PFC (kg)	0

Como puede observarse, una parte importante se debe a la combustión para la generación de energía. Por ello es necesario tratar de disminuir las emisiones. Para llegar a ello se debe investigar la posibilidad de usar otro tipo de tecnologías que permitan obtener energía de una manera más limpia y sin perder mucha eficiencia. Es en este momento cuando surge la comparativa que se va a realizar entre las calderas tradicionales impulsadas por gas natural y las nuevas impulsadas por biomasa.

En este proyecto se va a proponer una vía alternativa para la instalación de calefacción en una casa rural, haciendo una comparativa entre las calderas tradicionales, impulsadas por gas natural y las impulsadas por biomasa.

La casa rural se encontrará en la provincia de Toledo y la cuál, estará compuesta por una recepción y un total de 7 habitaciones, así como unas salas adicionales necesarias para el funcionamiento correcto del bloque, como son la sala de contadores y la de calderas. Las dimensiones y la orientación es la indicada en la siguiente ilustración de la planta baja y planta primera de la casa rural.

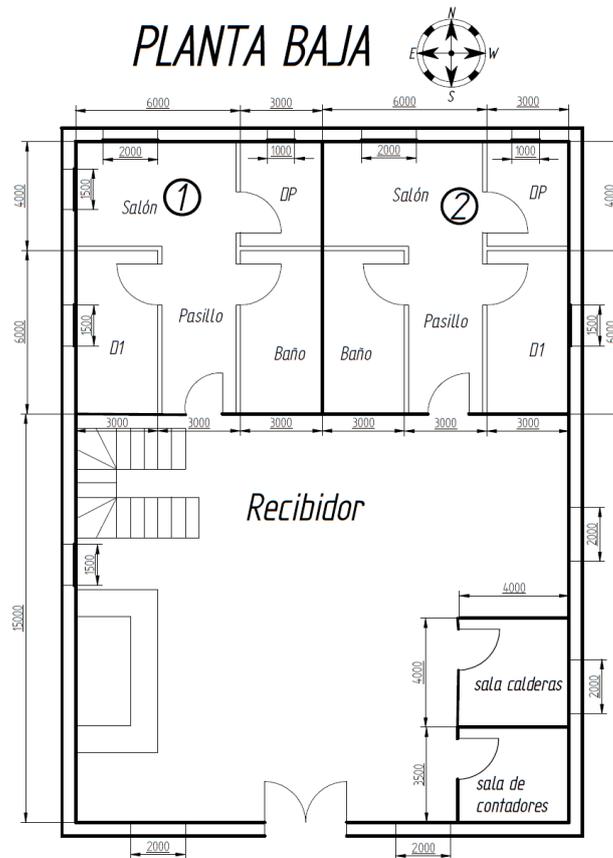
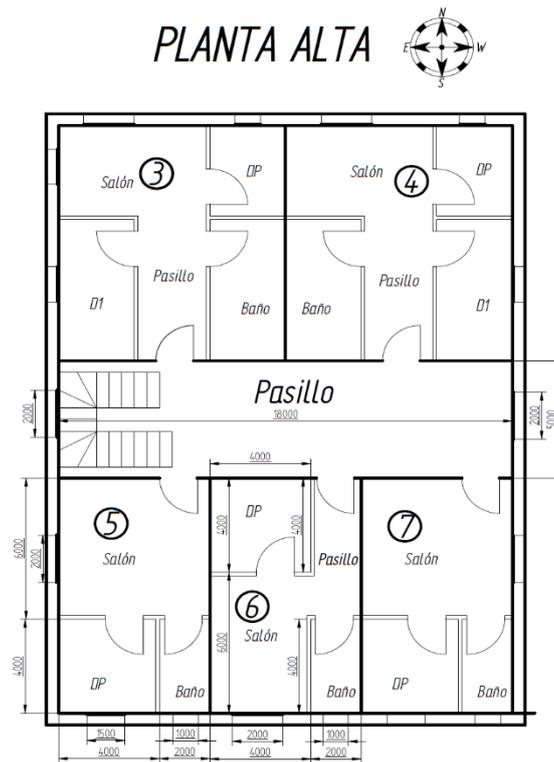


Ilustración 2: planta baja casa rural



Para comenzar la comparativa, una vez descrito el emplazamiento, se procederá a hacer un estudio de cargas el cual se hará para la ocupación máxima, lo que hace un total de 18 personas (3 personas en cada una de las primeras 4 habitaciones y 2 para las 3 restantes) ya que será el momento en que la demanda de calefacción será mayor en el edificio. El cálculo se hará de forma analítica y siempre para la situación más desfavorable, que en este caso será en invierno.

Posteriormente se hará una evaluación de las dos tecnologías a estudiar, tanto gas natural como biomasa y finalmente se hará una comparativa entre ambas alternativas, valorando los aspectos positivos y negativos de usará cada fuente de energía.

4. Estado del arte

Una caldera es un dispositivo que se encarga de generar vapor saturado. Este vapor se consigue gracias al calentamiento de un fluido (generalmente agua) y cambio a estado gaseoso. También se puede considerar como caldera todo aparato que trabaja a presión y convierte el calor de cualquier fuente de energía en energía útil gracias a la evaporación de un fluido.

Debido a que son aparatos que trabajan a alta presión, su cuerpo está construido en su mayoría en acero laminado o materiales de resistencia similar.

Las calderas tienen como función principal la de calefacción, aunque en el sector industrial tienen otros usos además de este como:

- Esterilización: en ambientes como los hospitales, el vapor que se genera es utilizado para esterilizar instrumental quirúrgico. Este uso también se puede encontrar en grandes comedores para esterilizar todos los cubiertos.
- Calentamiento de otros fluidos: en industrias como la petrolera, el vapor que genera la caldera es utilizado para calentar el crudo y mejorar de esta manera su fluidez. También sirve para separar incluso el agua que contiene el crudo al extraerlo del pozo.
- Generación de electricidad: la tecnología de las calderas son una parte muy importante de las centrales termoeléctricas.

Debido a esta cantidad de usos en la industria, las calderas se sitúan como uno de los grandes consumidores de combustibles fósiles.

En cuanto a su historia, a principios del siglo XIX se utilizaban calderas para producir vapor para la limpieza de ropas o incluso para teñirlas. Posteriormente se usaron como accionadores de bombas de agua para desplazar cilindros de forma vertical en las máquinas de vapor es decir, fue uno de los impulsores de la revolución industrial.

Las calderas pueden subdividirse en dos grandes grupos en función del contenido de sus tubos: acuotubulares (contienen agua) o pirotubulares (contienen fuego).

Las calderas acuotubulares hacen circular por el interior de sus tubos agua, mientras se aplica fuego en la superficie exterior para calentarla. Esta tecnología puede conseguir un gran rango de producción de vapor, desde las pequeñas calderas compactas hasta

producciones de incluso 100 t/h (calderas de centrales termoeléctricas). Es una tecnología mucha más compleja y requiere una seguridad mayor durante su funcionamiento.

Las calderas piro-tubulares hacen circular gases de combustión por el interior de sus tubos mientras que el agua que se desea evaporar permanece rodeando el exterior de los tubos. La máxima producción que se puede conseguir es en torno a 25 t/h. Debido a esta tasa inferior de producción, su uso se reduce a aplicaciones que necesiten una demanda menor. Para aplicaciones en las que se necesita agua caliente o vapor de agua como fuente de energía, este tipo de calderas son las más utilizadas.

En la actualidad podemos encontrar diferentes tipos de calderas en función del combustible que queramos utilizar. Podemos usar combustibles líquidos o sólidos, combustibles fósiles o biomasa. Para el proyecto en cuestión nos interesan las impulsadas por gas natural y las impulsadas por biomasa (6).

La tecnología de las calderas impulsadas por biomasa está menos desarrollada que la de las impulsada por gas natural, aunque los rendimientos que se llegan a obtener en la actualidad en los modelos impulsados por biomasa ya es superior incluso al 90%, aún está por debajo de las calderas de condensación impulsadas por gas natural que consiguen un rendimiento superior al 100% (debido al aprovechamiento del calor de los gases de escape se consiguen rendimientos superiores al 100%)

5. Normativa y localización

La localización de la casa rural será en la provincia de Toledo, perteneciente a la CCAA de Castilla la Mancha. La elección de este emplazamiento se debe al clima y vegetación que hay en la zona. Las calderas de biomasa, que son la variante a estudiar en este proyecto, son impulsadas por pellet o incluso con hueso de aceitunas (libera una gran cantidad de calor en su combustión) y para poder hacer una comparativa más equivalente se propone este emplazamiento por la cercanía de muchas fábricas de pellet. Esto conlleva la posibilidad de abaratar costes en el transporte del combustible.

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Temperatura media (°C)	5.8	7.4	10.5	13.3	16.6	21.9	26	25	21.1	15.2	9.9	6.5
Temperatura mín. (°C)	1.6	2.4	5.1	7.5	10.5	15.2	18.6	18	14.7	9.9	5.3	2.6
Temperatura máx. (°C)	10	12.5	15.9	19.1	22.7	28.7	33.4	32.1	27.5	20.6	14.5	10.4

Ilustración 4: temperaturas mensuales de Toledo

Todo tipo de instalación conlleva el cumplimiento de una serie de directivas y de normas. Las directivas son de obligado cumplimiento mientras que las normas no lo son. Aunque en algunos aspectos coincidan, cada tipo de caldera tiene su propia normativa a cumplir.

A continuación se van a exponer las normativas de aplicación de cada una de los dos tipos de calderas.

- Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio, por el que se aprueba la Norma Básica de la Edificación NBE CT-79 «Condiciones térmicas de los edificios» (7).
- Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo por el que se aprueba el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación (8).
- Corrección de errores de la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo(9).
- Exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética (10).
- Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas (11).
- Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios (12).
- REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (13).
- Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones de Calefacción, Climatización y Agua Caliente Sanitaria, con el fin de racionalizar su consumo energético (14).
- Directiva de diseño ecológico ErP (Energy Related Products) referente a los requisitos mínimos de eficiencia energética, emisiones de NOx y de niveles de ruido para los equipos de calefacción que se fabriquen o instalen en Europa (15).
- Directiva ELD de regulación del etiquetado energético para proporcionar detalles de la clase de eficiencia energética (16).
- Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) (17).
- RD 1853/93, de 22 de Octubre, Reglamento de instalaciones de gas en locales destinados a usos domésticos, colectivos o comerciales (RIGLO) (18).

- Directiva 2009/30/CE del 23 de Abril de 2009, por la que se modifica la Directiva 98/70/CE en relación con las especificaciones de la gasolina, el diésel y el gasóleo, se introduce un mecanismo para controlar y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, se modifica la Directiva 1999/32/CE del Consejo en relación con las especificaciones del combustible utilizado por los buques de navegación interior y se deroga la Directiva 93/12/CEE (19).

Estos decretos directivas y normas hacen referencia a los dos tipos de calderas a excepción de las dos últimas que hacen referencia al tipo de combustibles y solo se aplica a la caldera que usa ese combustible para su funcionamiento.

6. Cálculo de cargas térmicas

En este apartado se va a realizar el estudio térmico de todo el hotel, caracterizando temperaturas, resistencias térmicas, envolventes térmicas y demás.

A continuación se irán exponiendo los diferentes aspectos que han de ser definidos previamente al estudio de cargas y finalmente se realizará el cálculo de la transmitancia de cada uno de los diferentes recintos del hotel en cuestión.

6.1. Temperatura operativa y humedad relativa

En este apartado se obtendrá la temperatura que se debe mantener en el interior del hotel para cumplir la normativa. Según el RITE (Reglamento de Instalaciones Térmicas en edificios), para personas con una actividad metabólica sedentaria de 1.2 met, con un grado de vestimenta de 0.5 clo en verano y 1 clo en invierno y estimando un índice de insatisfechos no superior al 10-15% se obtienen los datos de la siguiente tabla mostrada (19):

TEMPERATURA INTERIOR

Estación	Temperatura operativa °C	Humedad relativa %
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Teniendo en cuenta estos datos, para no realizar cálculos de forma duplicada, se utilizará una temperatura interior de 23 °C a lo largo de todo el año y una humedad relativa del 50% para todo el edificio en cuestión.

6.2. Velocidad media del aire en la zona ocupada

La velocidad que tiene el aire dentro de la zona ocupada debe ser contralada, ya que en caso de ser demasiado elevada puede perjudicar al grado de confort de los ocupantes, y en caso de ser demasiado baja podría no mover el caudal de aire necesario para poder realizar las renovaciones de aire necesarias en la sala.

Si recurrimos al RITE (19), podemos encontrar una expresión que define la velocidad necesaria que debe llevar el aire.

$$v = \frac{t}{100} - 0.07$$

Siendo t el valor de la temperatura interior del edificio en °C, se pueden obtener diferentes valores para las diferentes temperaturas indicadas en el apartado anterior.

Temperatura interior °C	Velocidad media del aire en la zona ocupada m/s
21	0.14
23	0.16
25	0.18

6.3. Condiciones exteriores

La temperatura del exterior a lo largo de todo el año se puede obtener de las mediciones que proporciona cualquier tabla climática. Recurriendo a una de la localización en la que se emplaza el hotel (Toledo), se obtienen los siguientes datos (20):

	En	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
T _{max} °C	10	12.5	15.9	19.1	22.7	28.7	33.4	32.1	27.5	20.6	14.5	10.4
T _{min} °C	1.6	2.4	5.1	7.5	10.5	15.2	18.6	18	14.7	9.9	5.3	2.6
T _{med} °C	5.8	7.4	10.5	13.3	16.6	21.9	26	25	21.1	15.2	9.9	6.5

6.4. Caracterización de la vivienda

Para una caracterización completa de la fachada se necesitan conocer los datos de los siguientes campos:

- Metros cuadrados de cada zona.
- Orientación.
- Número de ocupantes.
- Zona térmica del emplazamiento.
- Porcentaje de huecos.
- Clasificación de los espacios

6.4.1. Metros cuadrados del hotel y huecos:

		Superficie (m ²)	Huecos N (m ²)	Huecos S (m ²)	Huecos E (m ²)	Huecos W (m ²)
HABITACIÓN 1	Dp	12	1.5	-	-	-
	D1	18	-	-	-	2.25
	Baño	18	-	-	-	-
	Salón	24	3	-	-	2.25
	Pasillo	18	-	-	-	-
	Total	90	4.5	0	0	4.5
HABITACIÓN 2	Dp	12	1.5	-	-	-
	D1	18	-	-	2.25	-
	Baño	18	-	-	-	-
	Salón	24	3	-	-	-
	Pasillo	18	-	-	-	-
	Total	90	4.5	0	2.25	0
SALA DE CONTADORES	Total	14	0	0	0	0
SALA DE CALDERAS	Total	16	0	0	2	0
RECIBIDOR	Total	240	0	13.5	3	2.25
PLANTA BAJA	Total	450	9	13.5	9.5	6.75
HABITACIÓN 3	Dp	12	1.5	-	-	-
	D1	18	-	-	-	2.25
	Baño	18	-	-	-	-
	Salón	24	3	-	-	2.25
	Pasillo	18	-	-	-	-
	Total	90	4.5	0	0	4.5
HABITACIÓN 4	Dp	12	1.5	-	-	-
	D1	18	-	-	2.25	-
	Baño	18	-	-	-	-

	Salón	24	3	-	-	-
	Pasillo	18	-	-	-	-
	Total	90	4.5	0	2.25	0
HABITACIÓN 5	Dp	16	-	2.25	-	-
	Baño	8	-	0.5	-	-
	Salón	36	-	-	-	3
	Total	60	0	2.75	0	3
HABITACIÓN 6	Dp	16	-	-	-	-
	Baño	8	-	0.5	-	-
	Salón	24	-	3	-	-
	Pasillo	12	-	-	-	-
	Total	60	0	3.5	0	0
HABITACIÓN 7	Dp	16	-	2.25	-	-
	Baño	8	-	0.5	-	-
	Salón	36	-	-	3	-
	Total	60	0	2.75	3	0
PASILLO	Total	90	0	0	3	3
PLANTA ALTA	Total	450	9	9	8.25	10.5

	Superficie (m ²)	Superficie huecos (m ²)	Porcentaje huecos en fachada (%)
FACHADA N	108	18	16.67
FACHADA S	108	22.5	20.83
FACHADA E	150	15.5	10.33
FACHADA W	150	17.25	11.5

6.4.2. Orientación

Es importante conocer la orientación del emplazamiento ya que la radiación solar no incide de la misma forma en una fachada con orientación norte que en una con orientación oeste.

A continuación se van a comentar las características de las diferentes orientaciones de una fachada (21):

- **Fachada norte:** solo recibirá la luz del sol directamente en verano mientras que en invierno no recibe nada. Este tipo de fachadas son recomendables en emplazamientos donde haga calor la mayor parte del año ya que la casa se mantendrá más fresca y no será necesario un uso excesivo del aire acondicionado en muchos períodos del año.
- **Fachada sur:** el sol da directamente durante todo el día a lo largo de todo el año menos en verano, donde solo da directamente en las horas centrales del día. Esta

orientación es recomendable para emplazamientos con unas temperaturas bajas a lo largo del año.

- **Fachada este:** el sol incide directamente solo en las primeras horas del día, hasta el mediodía durante casi todo el año. Esto es recomendable para lugares con una temperatura elevada debido a que durante las primeras horas de luz, el sol no es tan agresivo y no calienta en exceso.
- **Fachada oeste:** el sol impacta desde el mediodía hasta el ocaso. Esto lo hace muy adecuado para climas fríos ya que las horas de incidencia del sol en la fachada son en las que el sol actúa de manera más agresiva. El inconveniente es que la fachada estará bastante fría por la mañana y no entrará en calor hasta el mediodía.

La orientación de la casa rural propuesta será:

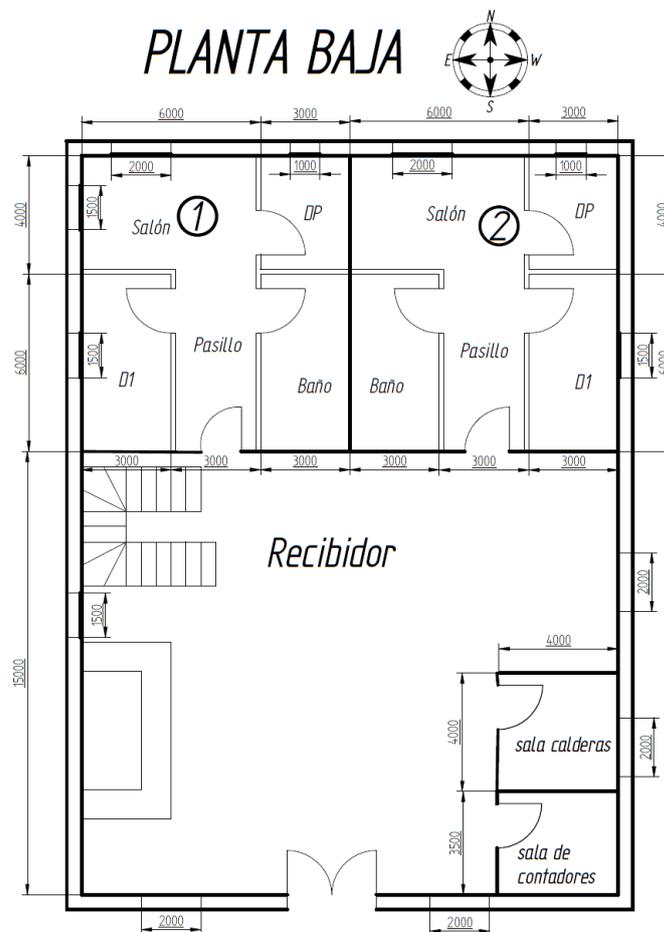


Ilustración 5: orientación planta baja

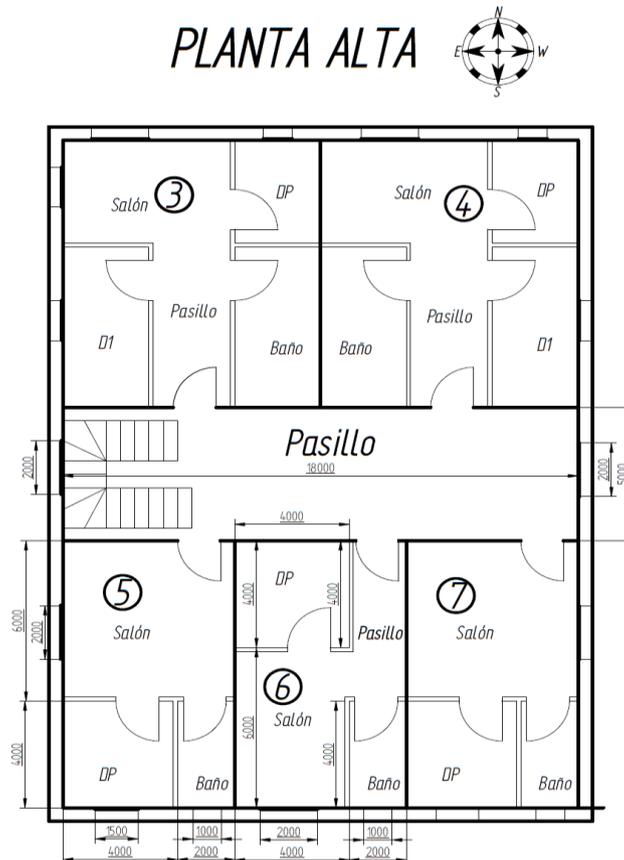


Ilustración 6: orientación planta alta

6.4.3. Número de ocupantes

El cálculo se debe realizar para el caso en que la ocupación del hotel sea máxima. Teniendo en cuenta las nomenclaturas del plano adjuntado anteriormente y conociendo la capacidad de cada una de los dormitorios (DP: 2 personas en una cama de matrimonio, D1: 2 personas en una cama individual para cada una), las habitaciones correspondientes a los números 1, 2, 3 y 4 tienen una capacidad de 4 personas cada una mientras que las correspondientes a los números 5, 6 y 7 tendrán una capacidad de 2 personas.

Sumando la capacidad máxima de cada habitación se tiene un total de 24 personas para el caso en que la ocupación hotelera sea del 100%.

6.4.4. Zona térmica del emplazamiento

Como se ha comentado anteriormente, el emplazamiento del hotel será en Toledo. Haciendo uso del Código Técnico de Edificación (CTE) (22), concretamente en el DBHE-27, se puede obtener la zona climática perteneciente a Toledo:

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400							h < 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168								h < 400	h < 450				h < 450			
Barcelona	C2	1										h < 250				h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214											h < 250				h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h < 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h < 550			
Coruña, La / A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h < 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jaén	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Logroño	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h < 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h < 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300		h < 800			h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h < 250						
Pamplona/Iruña	D1	456										h < 100			h < 300	h < 600	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h < 350	h ≥ 350
Salamanca	D2	770													h < 800			h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200					h < 200						
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h < 500			h ≥ 500
Trenel	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h ≥ 1000
Toledo	C4	445										h < 500			h < 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500			h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704													h < 800			h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617													h < 800			h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650

Ilustración 7: tabla B.1. del DBHE para la elección de la zona climática

La zona climática correspondiente a la región del hotel será la C4.

Una vez conocida la zona climática, se puede obtener el valor de la transmitancia límite de los diferentes elementos del edificio. Para obtener el valor de dichos parámetros se recurre nuevamente al DBHE (23), a la página 36 en la que se obtienen los siguientes datos:

D.2.12 ZONA CLIMÁTICA C4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno	$U_{Mlim}: 0,73 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de suelos	$U_{Slim}: 0,50 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Transmitancia límite de cubiertas	$U_{Clim}: 0,41 \text{ W/m}^2 \text{ K}$
Factor solar modificado límite de lucernarios	$F_{Lim}: 0,27$

% 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	4,4	4,4	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,4	3,9	4,4	4,4	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	2,9	3,3	4,3	4,3	-	-	-	0,54	-	0,56
de 31 a 40	2,6	3,0	3,9	3,9	0,54	-	0,56	0,41	0,57	0,43
de 41 a 50	2,4	2,8	3,6	3,6	0,47	-	0,46	0,34	0,47	0,35
de 51 a 60	2,2	2,7	3,5	3,5	0,38	0,53	0,39	0,29	0,40	0,30

Ilustración 8: características de la zona climática C4

6.4.5. Clasificación de los espacios

No todos los espacios están destinados para el mismo uso y por tanto tienen diferentes exigencias. Podemos encontrar espacios de carga interna baja y espacios de carga térmica alta.

Los espacios que tienen una carga interna baja son aquellos que pierden poca cantidad de calor, es decir, son aquellos lugares que mantienen de una manera más constante la temperatura. Para el proyecto que se está estudiando, las zonas que pertenecen a este grupo son el conjunto de habitaciones de los diferentes huéspedes.

Por otra parte, los espacios que tienen una carga interna más elevada son aquellas zonas que necesitan mayor pérdida de calor debido a la gran generación del mismo por la iluminación, maquinaria o presencia de grandes volúmenes de personas en proporción con la sala. Dentro de este grupo quedarán recogidos el pasillo de la planta superior, el recibidor y las salas de calderas y contadores.

6.5. Envoltente térmica

La envoltente térmica nos proporciona el factor de transmisión global de calor o también conocido como transmitancia del edificio al que se somete el estudio de cargas.

Para realizar el cálculo de la envoltente térmica de un edificio debemos conocer que elementos lo forman. Todos los cerramientos que separan el interior y el exterior de la vivienda, así como las particiones interiores que separan las zonas habitables de las no habitables que estén en contacto con el exterior.

A continuación se van a exponer las composiciones de los diferentes elementos formadores de los cerramientos de nuestro hotel.

6.5.1. Cerramiento exterior

El cerramiento exterior se encarga de separar el ambiente externo del interno. Dentro de este grupo se encuentra toda la fachada del edificio. Su composición (de exterior a interior) estará formada por ladrillo cerámico macizo, mortero de cemento, aislante térmico (poliestireno expandido), ladrillo hueco y enlucido de yeso. Las proporciones y características son las mostradas en la siguiente tabla (24).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/(m·°C))
Ladrillo macizo	0.13	0.87
Mortero de cemento	0.02	1.40
Poliestireno expandido tipo (II)	0.04	0.044
Ladrillo hueco	0.13	0.49
Enlucido de yeso	0.01	0.3

Como todo proceso de transferencia de calor, se tienen diferentes procesos que deben ser tenidos en cuenta. Esto se resume en que debe tenerse en cuenta, además del proceso de conducción, el proceso de convección tanto en la parte externa como interna del cerramiento. Los valores de los coeficientes convectivos vienen tabulados en el DA-DB-HE-1 en la página 3 (10).

Posición del cerramiento y sentido del flujo de calor	R_{se}	R_{si}
Cerramientos verticales o con pendiente sobre la horizontal $>60^\circ$ y flujo Horizontal	0,04	0,13
Cerramientos horizontales o con pendiente sobre la horizontal $\leq 60^\circ$ y flujo ascendente (Techo)	0,04	0,10
Cerramientos horizontales y flujo descendente (Suelo)	0,04	0,17

Ilustración 9: tabla 1 del DA-DB-HE-1 para las resistencias térmicas superficiales de cerramientos en contacto con el aire exterior.

Los valores de los coeficientes convectivos pueden ser obtenidos conociendo la expresión de la resistencia térmica en un proceso de convección:

$$R = \frac{1}{h_{conv}}$$

El cerramiento exterior tiene una inclinación mayor a 60° respecto de la horizontal, por tanto, los valores de nuestros coeficientes convectivos serán:

Lugar de convección	Coefficiente convectivo (W/m ² ·°C)
Exterior (h _e)	25
Interior (h _i)	7.69

Finalmente se puede realizar el cálculo del coeficiente de transferencia global del forjado exterior.

$$U_{cerramiento,ext} = \frac{1}{R_{cerramiento,ext}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_e}}$$

$$U_{cerramiento,ext} = \frac{1}{0.04 + \frac{0.13}{0.87} + \frac{0.02}{1.40} + \frac{0.04}{0.044} + \frac{0.13}{0.49} + \frac{0.01}{0.3} + 0.13} = 0.61 \frac{W}{m^2K}$$

6.5.2. Cerramiento interior

Los cerramientos interiores se encargan de separar los diferentes espacios dentro del edificio. En este caso no hay ningún contacto con el exterior con lo cual ambos caras realizan sus procesos de convección en el interior del edificio, es decir, en ambos lados del cerramiento, el coeficiente convectivo será el mismo.

La composición de estos cerramientos está formado por un enlucido de yeso, una capa de aislante térmico (poliestireno expandido nuevamente), ladrillo hueco y una nueva capa de enlucido de yeso. Las proporciones y características de cada uno se muestran en la siguiente tabla (24).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m·°C)
Enlucido de yeso	0.01	0.3
Poliestireno expandido (tipo I)	0.05	0.057
Ladrillo hueco	0.13	0.49
Enlucido de yeso	0.01	0.3

Como se ha dicho anteriormente, los procesos convectivos de ambas caras serán iguales. Haciendo uso de la ilustración utilizada en los cerramientos exteriores para calcular los coeficientes convectivos, se obtiene un valor para cada lado de la pared de valor $h_i=7.69$ W/m²·°C (10).

Para finalizar, se realiza el cálculo del coeficiente de transferencia global del forjado interior.

$$U_{\text{cerramiento,int}} = \frac{1}{R_{\text{cerramiento,int}}} = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_i}}$$

$$U_{\text{cerramiento,int}} = \frac{1}{0.13 + \frac{0.01}{0.3} + \frac{0.05}{0.057} + \frac{0.13}{0.49} + \frac{0.01}{0.3} + 0.13} = 0.68 \frac{W}{m^2K}$$

6.5.3. Forjado interior

El forjado interior se encarga de separar dos plantas contiguas. Al igual que en los cerramientos interiores, los procesos convectivos tienen el mismo coeficiente de convección a ambos lados.

Si se comienza por la planta superior y se continúa hacia abajo, la composición del forjado interior será parquet a modo de suelo, mortero de cemento, entrevigado de tipo EPS y un enlucido de yeso a modo de techo del piso inferior (24).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m·°C)
Madera	0.03	0.1
Mortero de cemento	0.04	1.40
Entrevigado de EPS	0.2	0.34
Enlucido de yeso	0.01	0.3

El valor del coeficiente convectivo para ambos procesos de convección será el aportado por la tabla adjuntada en el cerramiento exterior, para cerramientos horizontales y flujo descendente (10).

Lugar de convección	Coefficiente convectivo (W/m ² ·°C)
superior (h _{suelo,s})	5.88
Inferior (h _{suelo,i})	5.88

Por último se calcula el valor del coeficiente de transferencia global del forjado interior:

$$U_{forjado,int} = \frac{1}{R_{forjado,int}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{suelo,s}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{suelo,i}}}$$

$$U_{forjado,int} = \frac{1}{0.17 + \frac{0.03}{0.1} + \frac{0.04}{1.40} + \frac{0.2}{0.34} + \frac{0.01}{0.3} + 0.17} = 0.77 \frac{W}{m^2 K}$$

6.5.4. Suelo

El suelo es el elemento que se encarga de separar la planta baja del exterior. Este elemento estructural tiene la característica de solo realizar convección por uno de sus lados (el del interior del edificio) debido a que la cara que da al exterior está en contacto con el terreno sobre el que se apoya el edificio, por tanto, solo habrá conducción.

Los elementos que conforman el suelo son (de arriba abajo) parquet, mortero de cemento, aislante térmico de lana mineral y la solera de hormigón (24).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/m·°C)
Madera	0.03	0.1
Mortero de cemento	0.04	1.40
Lana mineral (tipo I)	0.06	0.042
Solera de hormigón	0.2	1.63

El proceso de convección que tiene lugar entre la parte superior del suelo y el recinto, tiene un factor de convección de h_{suelo,i}=5.88 W/m²·°C (10).

Para concluir se realiza el cálculo del coeficiente de transferencia global del suelo:

$$U_{suelo} = \frac{1}{R_{suelo}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{suelo,i}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i}}$$

$$U_{suelo} = \frac{1}{0.17 + \frac{0.03}{0.1} + \frac{0.04}{1.40} + \frac{0.05}{0.042} + \frac{0.2}{1.63}} = 0.49 \frac{W}{m^2K}$$

6.5.5. Cubierta

La cubierta se encarga de separar el interior de la última planta del exterior del edificio. La composición de este elemento será (desde el exterior hacia el interior) tejas, un mortero de cemento, aislante de poliestireno expandido, entrevigado de EPS y un enlucido de yeso que hará de techo de la última planta (24).

Material	Espesor (m)	Conductividad térmica (W/(m·°C))
Teja	0.1	0.24
Mortero de cemento	0.04	1.40
Poliestireno expandido tipo (II)	0.06	0.044
Entrevigado de EPS	0.2	0.34
Enlucido de yeso	0.01	0.3

En cuanto a los procesos de convección, tomando cerramientos horizontales y flujo ascendente, se obtienen los siguientes valores para los coeficientes de convección (10):

Lugar de convección	Coefficiente convectivo (W/m ² ·°C)
superior ($h_{techo,e}$)	25
Inferior ($h_{techo,i}$)	10

Por último se realiza el cálculo del coeficiente global de transmisión:

$$U_{cubierta} = \frac{1}{R_{cubierta}} = \frac{1}{\frac{1}{h_{techo,e}} + \sum \frac{e_i}{\lambda_i} + \frac{1}{h_{techo,i}}}$$

$$U_{cubierta} = \frac{1}{0.04 + \frac{0.1}{0.24} + \frac{0.04}{1.40} + \frac{0.06}{0.044} + \frac{0.2}{0.34} + \frac{0.01}{0.3} + 0.1} = 0.39 \frac{W}{m^2K}$$

6.5.6. Ventanas y puertas

Las ventanas y las puertas son los elementos que van incrustados en los huecos, por este motivo su estudio se realiza a la vez, ya que el método operativo a seguir es el mismo. Para calcular la envolvente térmica de estos elementos, hay que tener en cuenta que no están formadas únicamente por cristal o por la puerta en cuestión, sino que también tienen un marco, el cual tiene una conductividad diferente y por tanto tendrá otras características.

En el hotel se tienen 4 tipos de ventanas y 2 tipos de puertas:

	Altura (m)	Anchura (m)	Altura hueco (m)	Anchura hueco (m)
Ventana 1	1.22	1.60	1.5	2
Ventana 2	1.22	1.10	1.5	1.5
Ventana 3	1.22	0.6	1.5	1
Ventana 4	0.72	1.6	1	2
Puerta 1	2	1.5	2.2	1.9
Puerta 2	3	3	3.25	3.5

Para calcular el coeficiente global de transferencia de las ventanas se parte de la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,V} + FM \cdot U_{H,M}$$

Siendo:

U_H : coeficiente global de transferencia de los huecos. ($W/m^2 \cdot K$)

FM : fracción del hueco ocupada por el marco. (-)

$U_{H,V}$: coeficiente global de transferencia de la ventana. ($W/m^2 \cdot K$)

$U_{H,M}$: coeficiente global de transferencia del marco. ($W/m^2 \cdot K$)

El cálculo de la fracción de hueco ocupada por el marco se puede obtener de la proporción hueco-ventana. La proporción de marco será la diferencia entre la unidad y el cociente entre las dos superficies (ventana/hueco).

	Fracción de hueco ocupada por el marco (%)
Ventana 1	34.93
Ventana 2	40.36
Ventana 3	51.20
Ventana 4	42.40
Puerta 1	28.23
Puerta 2	20.88

Para obtener el valor del coeficiente de transferencia global de calor de las ventanas, puertas y marcos, recurrimos a la norma NBE-CT-79 (24) en la página 41, donde se encuentra una tabla con los valores característicos de estos parámetros para ventanas puertas y marcos.

Tipo de acristalamiento	Espesor nominal de la cámara de aire, en mm	Tipo de carpintería	Inclinación del hueco con respecto a la horizontal	
			≥ 60°	< 60°
Sencillo		Madera	4,3 (5,0)	4,7 (5,5)
		Metálica	5,0 (5,8)	5,6 (6,5)
Doble	6	Madera	2,8 (3,3)	3,0 (3,5)
		Metálica	3,4 (4,0)	3,7 (4,3)
	9	Madera	2,7 (3,1)	2,8 (3,3)
		Metálica	3,4 (3,9)	3,6 (4,2)
	12	Madera	2,5 (2,9)	2,7 (3,1)
		Metálica	3,2 (3,7)	3,4 (4,0)
Doble ventana	≥ 30	Madera	2,2 (2,6)	2,3 (2,7)
		Metálica	2,6 (3,0)	2,8 (3,2)
Hormigón translúcido	—	—	3,0 (3,5)	3,2 (3,7)

Coefficiente de transmisión térmica K_t, en kcal/h m² °C (W/m² °C)

Ilustración 10: tabla 2.12. del NBE-CT-79

Las ventanas del hotel son con una cámara de aire de 6 mm y metálicas, mientras que las puertas son sencillas y madera.

Anteriormente a la tabla, la norma nos indica que estos valores representan el hueco en total. En construcciones de vidrio, el dato debe ser multiplicado por 0.8 mientras que el marco será multiplicado por 0.2. En construcciones de madera, el factor para la puerta será de 0.7 y para el marco 0.3.

Atendiendo a estas especificaciones se llega a los siguientes valores de coeficiente global de transferencia:

Ventana	2.8 W/m ² ·°C
Puerta	4 W/m ² ·°C
Marco ventana	1.2 W/m ² ·°C
Marco puerta	1 W/m ² ·°C

Finalmente se puede calcular el coeficiente global de transferencia de los huecos de los diferentes elementos sustituyendo los valores de los parámetros calculados, en la primera expresión.

	Coficiente global de transferencia W/m²·°C
Ventana 1	2.24
Ventana 2	2.15
Ventana 3	1.98
Ventana 4	2.12
Puerta 1	3.15
Puerta 2	3.37

En los huecos se debe calcular además el factor solar. Para su cálculo se recurre a la siguiente expresión facilitada por el DA-DB-HE-1 en la página 12 (25):

$$F = F_S * ((1 - FM) \cdot g + FM \cdot 0.04 \cdot U_m \cdot \alpha)$$

Siendo:

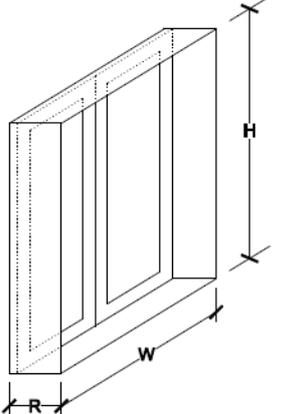
F_s: factor de sombra del hueco.

g: factor solar de la parte semitransparente del hueco a incidencia normal.

U_m: coeficiente global de transferencia del marco del hueco (W/m²·°C).

α: absortividad del marco.

El factor de sombra se puede obtener de la tabla 13 del DA-DB-HE-1 (25).



		ORIENTACIONES DE FACHADAS				
		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$	
S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62	0,39	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56	0,35	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39	0,27	
	$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27	0,17	
SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72	0,51	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66	0,47	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47	0,36	
	$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32	0,23	
E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81	0,65	
	$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76	0,61	
	$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61	0,51	
	$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48	0,39	

Ilustración 11: tabla 13 de DA-DB-HE-1 para el factor de sombra para obstáculos de fachada: retranqueo

Conociendo las dimensiones de las puertas y las ventanas y tomando como ancho del mismo el espesor de la fachada en la que se incrusta se obtienen los siguientes datos.

Elemento	R/W	R/H	N	S	E	W
Ventana 1	0.18	0.23	1	0.51	0.68	0.68
Ventana 2	0.23	0.23	-	0.39	0.61	0.61
Ventana 3	0.35	0.23	1	0.39	-	-
Ventana 4	0.18	0.35	-	-	-	0.68
Puerta 1	0.11	0.09	-	-	-	-
Puerta 2	0.10	0.11	-	0.76	-	-

Como puede observarse, no se obtienen valores para la puerta tipo 1 puesto que no son puertas que den al exterior. Por otra parte, cabe destacar que los valores del factor de sombra de los elementos que dan al norte tienen valor 1.

El valor del factor solar (g) se estimará como 0.75.

El valor de la absorptividad del marco, se puede obtener de la tabla 11 del DA-DB-HE-1 (25).

Color	Claro	Medio	Oscuro
Blanco	0,20	0,30	-
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	-
Negro	-	0,96	-

Ilustración 12: tabla 11 del DA-DB-HE-1 para la absorptividad del marco para radiación solar α

Como el marco de las ventanas es de color blanco claro, el factor de absorptividad será de 0.2.

Finalmente introduciendo todos estos datos en la expresión inicial, se llega a los siguientes resultados:

	N	S	E	W
Ventana 1	0.49	0.25	0.34	0.34
Ventana 2	-	0.18	0.28	0.28
Ventana 3	0.37	0.14	-	-
Ventana 4	-	-	-	0.30
Puerta 2	-	0.45	-	-

6.6. Estudio de cargas

Se conoce como carga térmica a toda perturbación capaz de modificar la energía que posee un habitáculo que se quiere climatizar. Es una medición de energía, en este caso térmica y como tal se medirá en kW. Gracias a su cálculo se pueden dimensionar los diferentes equipos necesarios para mantener la energía que posee el local en cuestión.

Las causas o perturbaciones que generan estas cargas térmicas son tanto las condiciones exteriores del medio en el que se encuentra el local a climatizar, como las fuentes de energías que se encuentren en el interior del propio recinto. Todos estos factores afectan a la temperatura del interior del espacio que se está estudiando.

Si las perturbaciones varían la cantidad de vapor de agua, modificando la energía del volumen de control, se denomina carga térmica latente.

Otra clasificación posible para estas cargas térmicas es en función de la localización en la que se generan. De esta manera se tienen cargas exteriores y cargas interiores en función de si su origen es en el exterior del recinto o en su interior.

También cabe destacar la existencia de unas cargas térmicas que no se producen instantáneamente sino que se acumulan en el interior de la habitación. Estas son las denominadas cargas con inercia térmica.

La carga térmica es diferente para un cálculo de calefacción y para uno de refrigeración. La diferencia radica en que para la carga térmica de refrigeración se tiene en cuenta la carga térmica latente y para la calefacción no.

En el proyecto que se plantea, solo nos interesa la carga térmica de calefacción puesto que el objetivo es una comparativa entre dos mecanismos de calefacción para un local (26).

6.6.1. Cargas térmicas de calefacción

6.6.1.1. Carga térmica de transmisión

La carga térmica de transmisión evalúa el calor aportado o perdido por los cerramientos y se puede obtener de la expresión (26):

$$Q_{trans} = U_m * A * (T_{int} - T_{ext})$$

Siendo:

Q: calor intercambiado [W].

U_m : coeficiente de transmisión global [W/(m²*K)].

A: área de intercambio [m²].

T_{int} : temperatura del interior del local [K].

T_{ext} : temperatura exterior al local. Cabe destacar que esta temperatura, en caso de realizarse el cálculo para un espacio no habitable, su valor será la media entre la interior y la exterior [K].

6.6.1.2. Carga térmica de ventilación

La legislación obliga a un determinado caudal de renovación del aire en función del fin para el que esté destinado nuestro habitáculo. Para el cálculo de esta carga se térmica se recurre a la expresión (26):

$$Q_{vent} = V_a * \rho_a * Cp_a * (T_{int} - T_{ext})$$

Siendo:

Q_{vent} : carga de ventilación o de infiltración sensible [W].

V_a : caudal de aire. Depende de la actividad que se va a realizar en el recinto estudiado [m³/s].

ρ_a : densidad del aire [kg/m³].

Cp_a : calor específico del aire [J/(kg*K)]

T_{int} : temperatura del interior del local [K].

T_{ext} : temperatura exterior al local [K].

Además de estas aportaciones, se debe tener en cuenta que hay otros factores que afectan a la temperatura que tendrá el habitáculo, como son las aportaciones internas y la radiación.

Las aportaciones internas son las originadas por todos los equipos que se encuentran en el interior del espacio sometido a estudio. Tanto la iluminación como el resto de equipos eléctricos e incluso el factor humano deben ser tenidos en cuenta puesto que una persona es una fuente constante de calor.

La radiación solar sobre el exterior de la fachada también contribuye con un aporte de calor al recinto.

Debido a que estos últimos factores se traducen en un aporte de calor y no en una pérdida del mismo, no se tendrán en cuenta para el cálculo de la carga térmica. De esta manera será posible ponerse del lado más desfavorable (ningún aporte auxiliar de calor) y el dimensionado tendrá un margen de operación más seguro que de tenerlos en cuenta.

6.6.2. Resultados

Finalmente se realizarán los cálculos haciendo usos de las expresiones anteriores. Debido a que el cálculo es para calefacción, se tomará como temperatura de referencia en el exterior la mínima de Toledo que se registra en enero y tiene un valor de 1.6°C. Al tratarse de invierno, la temperatura de referencia para el interior será de 21 °C.

Los resultados se van a exponer de forma independiente en cada uno de los diferentes espacios de la casa rural en dos tablas, una para la carga de transmisión y otra para la carga de ventilación.

6.6.2.1. Habitación 1

- **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	Superficie (m ²)	Qsuelo (W)
DP	3	4	1,5	10,5	124,257	57,618	12	110,25
D1	6	4	2,25	21,75	257,3895	93,8475	18	165,375
Baño	0	4	0	0	0	0	18	165,375
Salón	10	4	5,25	34,75	411,2315	224,2155	24	220,5
Pasillo	0	4	0	0	0	0	18	165,375
					792,878	375,681		826,875

- **Qventilación**

	Vvent	Qvent
DP	1,00E-02	218,58368
D1	5,00E-03	109,29184
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	9,00E-03	196,725312
Pasillo	9,00E-03	196,725312
		1049,20166

6.6.2.2. Habitación 2

- **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qsuelo (W)
DP	7	4	1,5	26,5	313,601	57,618	12	110,25
D1	6	4	2,25	21,75	257,3895	93,8475	18	165,375
Baño	0	4	0	0	0	0	18	165,375
Salón	6	4	3	21	248,514	130,368	24	220,5
Pasillo	0	4	0	0	0	0	18	165,375
					819,5045	281,8335		826,875

- **Qventilación**

	Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
DP	1,00E-02	218,58368
D1	5,00E-03	109,29184
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	9,00E-03	196,725312
Pasillo	9,00E-03	196,725312
		1049,20166

6.6.2.3. Sala de calderas

- **Qtransmisión**

Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qsuelo (W)
4	4	2	14	165,676	82,256	16	147

- **Qventilación**

Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
9,80E-03	214,212006

6.6.2.4. Sala de contadores

 • **Qtransmisión**

Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m2)	Acerr.ext (m2)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m2)	Qsuelo (W)
3,5	4	0	14	165,676	0	14	128,625

 • **Qventilación**

Vvent (m3/s)	Qvent (W)
1,12E-02	244,813722

6.6.2.5. Recibidor

 • **Qtransmisión**

Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m2)	Acerr.ext (m2)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m2)	Qsuelo (W)
36,5	4	22,625	123,375	1460,01975	1184,49125	240	2205

 • **Qventilación**

Vvent (m3/s)	Qvent (W)
2,88E-01	6295,20998

6.6.2.6. Habitación 3

 • **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qtecho (W)
DP	3	4	1,5	10,5	124,2157	57,618	12	90,792
D1	6	4	2,25	21,75	257,3895	93,8475	18	136,188
Baño	0	4	0	0	0	0	18	0
Salón	10	4	5,25	34,75	411,2315	224,2155	24	181,584
Pasillo	0	4	0	0	0	0	18	0
					792,878	375,681		408,564

 ○ **Qventilación**

	Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
DP	1,00E-02	218,58368
D1	5,00E-03	109,29184
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	9,00E-03	196,725312
Pasillo	9,00E-03	196,725312
		1049,20166

6.6.2.7. Habitación 4

 • **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qtecho (W)
DP	7	4	1,5	26,5	313,601	57,618	12	90,792
D1	6	4	2,25	21,75	257,3895	86,427	18	136,188
Baño	0	4	0	0	0	0	18	0
Salón	6	4	3	21	248,514	224,2155	24	181,584
Pasillo	0	4	0	0	0	0	18	0
					819,5045	368,2605		408,564

- **Qventilación**

	Vvent (m3/s)	Qvent (W)
DP	1,00E-02	218,58368
D1	5,00E-03	109,29184
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	9,00E-03	196,725312
Pasillo	9,00E-03	196,725312
		1049,20166

6.6.2.8. Habitación 5

- **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m2)	Acerr.ext (m2)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m2)	Qtecho (W)
DP	8	4	2,25	29,75	352,0615	93,8475	16	121,056
Baño	2	4	1,5	6,5	76,921	57,618	8	60,528
Salón	6	4	3	21	248,514	130,368	36	272,376
					677,4965	281,8335		453,96

- **Qventilación**

	Tint	Text	Vvent (m3/s)	Qvent (W)
DP	21	1,6	1,00E-02	218,58368
Baño	21	1,6	1,50E-02	327,87552
Salón	21	1,6	6,00E-03	131,150208
				677,609408

6.6.2.9. Habitación 6

- **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qtecho (W)
DP	0	4	0	0	0	0	16	0
Baño	2	4	1,5	6,5	76,921	57,618	8	60,528
Salón	4	4	3	13	153,842	130,368	24	181,584
Pasillo	0	4	0	0	0	0	12	0
					230,763	187,986		242,112

- **Qventilación**

	Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
DP	1,00E-02	218,58368
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	6,00E-03	131,150208
Pasillo	6,00E-03	131,150208
		808,759616

6.6.2.10. Habitación 7

- **Qtransmisión**

	Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qtecho (W)
DP	4	4	2,25	13,75	162,7175	93,8475	16	121,056
Baño	6	4	1,5	22,5	266,265	57,618	8	60,528
Salón	6	4	3	21	248,514	130,368	36	272,376
					677,4965	281,8335		453,96

- **Qventilación**

	Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
DP	1,00E-02	218,58368
Baño	1,50E-02	327,87552
Salón	6,00E-03	131,150208
		677,609408

6.6.2.11. Pasillo superior

- **Qtransmisión**

Lfachada (m)	Altura (m)	Ahueco (m ²)	Acerr.ext (m ²)	Qcerr (W)	Qhueco (W)	superficie (m ²)	Qtecho (W)
10	4	6	34	402,356	260,736	90	680,94

- **Qventilación**

Vvent (m ³ /s)	Qvent (W)
1,92E-01	4196,80666

6.6.2.12. Carga térmica total

Una vez calculada la carga térmica de cada espacio de forma individual, se procede a exponer la carga térmica total de la casa rural en la siguiente tabla. Esta carga térmica será la demanda de calefacción que se deba satisfacer.

Debido a que existe la posibilidad de que llegue una ola de frío y la temperatura sea incluso menor, se aplicará a esta carga un factor de seguridad adicional para poder abastecer un pico de demanda. El factor de seguridad que será empleado de 1.2.

	Carga Térmica (W)
Habitación1	3044,63566
Habitación2	2977,41466
Habitación3	2626,32466
Habitación4	2645,53066
Habitación5	2090,89941
Habitación6	1469,62062
Habitación7	2090,89941
Recibidor	11144,721
Pasillo sup.	5540,83866
Sala calderas	609,144006
Sala contadores	539,114722
TOTAL	34779,1435

La carga térmica total del hotel será de 34.78 kW y haciendo uso del factor de seguridad se obtiene un valor de 41.73 kW que será la potencia que deba tener la caldera elegida.

7. Caldera de gas natural

Atendiendo a la carga térmica obtenida anteriormente se procederá a elegir la caldera de gas natural que posteriormente será comparada con la otra modalidad de caldera.

El tipo de caldera de gas natural elegida será de condensación. Esta modalidad de calderas está en alza debido a su tecnología que permite obtener un rendimiento mayor gracias a su modo de funcionamiento.

Las calderas de condensación, a diferencia de las convencionales de gas natural, pueden recuperar parte del calor latente que poseen los gases de combustión. Esto permite no solo una mayor eficiencia energética sino que se consigue que los gases de escape bajen notablemente su temperatura (unos 45°C frente a los 120°C a los que pueden llegar las tradicionales) (27).

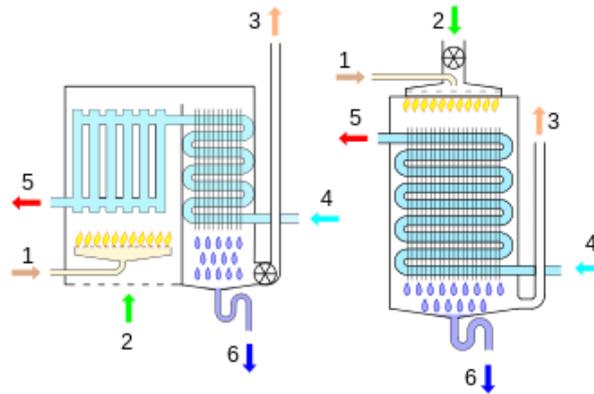


Ilustración 13: caldera de gas natural de condensación frente a caldera tradicional de gas natural

7.1. Funcionamiento

El funcionamiento de estas calderas se basa en la condensación, es decir el cambio de fase de un elemento de estado gaseoso a estado líquido. Cuando se produce este cambio de fase, se libera una gran cantidad de energía denominada calor latente. Se puede decir que las calderas de condensación no solo tienen en cuenta el poder calorífico inferior (PCI) sino que también aprovecha el poder calorífico superior (PCS) ya que, no solo tiene en cuenta el calor que se puede producir con una cantidad de combustible, sino que además considera un porcentaje extra debido al calor latente formado en la condensación posterior.

Haciendo uso de las herramientas de cálculo anteriores a la implantación de la directiva de ErP, es decir realizando el cálculo del rendimiento de la caldera con el PCI de referencia, se obtienen rendimientos superiores al 100% debido al aporte extra de rendimiento con la recuperación de calor de los gases de escape. No obstante desde la implantación de esta directiva, el cálculo debe hacerse con el PCS como referencia

Este aprovechamiento del calor latente se traduce en un ahorro energético en torno al 25-30%, además de reducir las emisiones de óxidos de nitrógeno (NOx) y dióxido de carbono (CO₂) (27) (28).

7.2. Diseño

El diseño de una caldera de condensación debe realizarse con el fin de reducir las pérdidas. Para ello debe conseguirse un trabajo con exceso de aire lo más ajustado y con un buen nivel de modulación, de esta manera se reducen las pérdidas por humos y las pérdidas por disposición respectivamente (27).

- Pérdidas por humos

Pérdidas originadas por el no aprovechamiento del calor de los productos de la combustión. Estas pérdidas pueden ser generadas por dos causas:

- Pérdidas de calor sensible: son las de mayor importancia y dependen del porcentaje de CO₂ y de la temperatura de los humos.
- Pérdidas por inquemados: originadas por el carbono inquemado tras la combustión y que genera CO.

- Pérdidas por disposición

Momentos en los que la caldera cede calor al exterior a través de su propio cuerpo. Esto sucede durante los períodos de descanso de la caldera.

Para controlar el aire de combustión y la modulación de la potencia se consigue con la implantación de ventiladores de velocidad variable, ya que de ese modo el caudal que entre en la caldera será el deseado en todo momento.

7.2.1. Circuito hidráulico de calefacción

En las calderas de condensación se busca que la temperatura de retorno sea la menor posible, ya que cuanto más baja sea la temperatura, más sencillo será que el agua de retorno llegue por debajo de la temperatura de rocío.

Debe evitarse a toda costa la existencia de válvulas mezcladoras con el objeto de interconectar impulsión y retorno para controlar la temperatura del primero, respetando así las recomendaciones del fabricante.

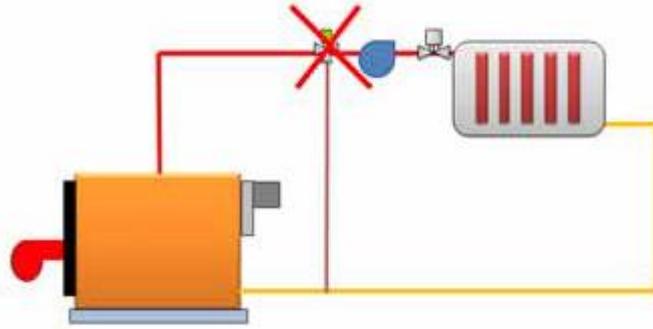


Ilustración 14: error por conexión de válvula mezcladora

En el sistema se encuentran dos bombas que regulan el caudal, son la bomba del circuito de calefacción y la del circuito de caldera. Un requisito imprescindible es asegurarse de que estas dos bombas garanticen que el caudal del agua circulante en el circuito de calefacción sea mayor que en el de la caldera. De esta forma se evita que el agua caliente de la impulsión se mezcle con el retorno como se puede apreciar en la siguiente imagen.

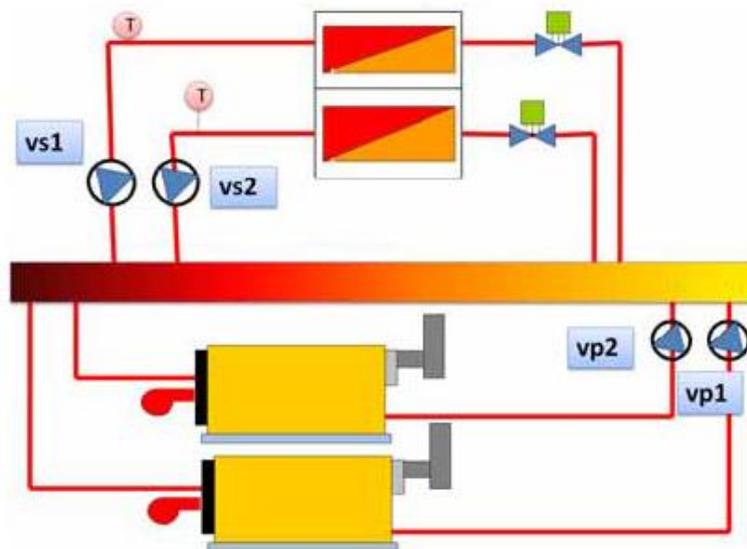


Ilustración 15: esquema circuito de impulsión y circuito de retorno

$$vs_1 + vs_2 > vp_1 + vp_2$$

En cuanto a las temperaturas de los caudales circulantes, debe buscarse la mayor amplitud térmica posible, es decir, a diferencia entre la temperatura máxima y mínima debe ser lo mayor posible. Esto se traduce en que para una misma temperatura media, si la amplitud térmica es mayor, el caudal necesario será menor y por tanto se verá más

favorecido el proceso de condensación del agua a la par que disminuye el consumo eléctrico.

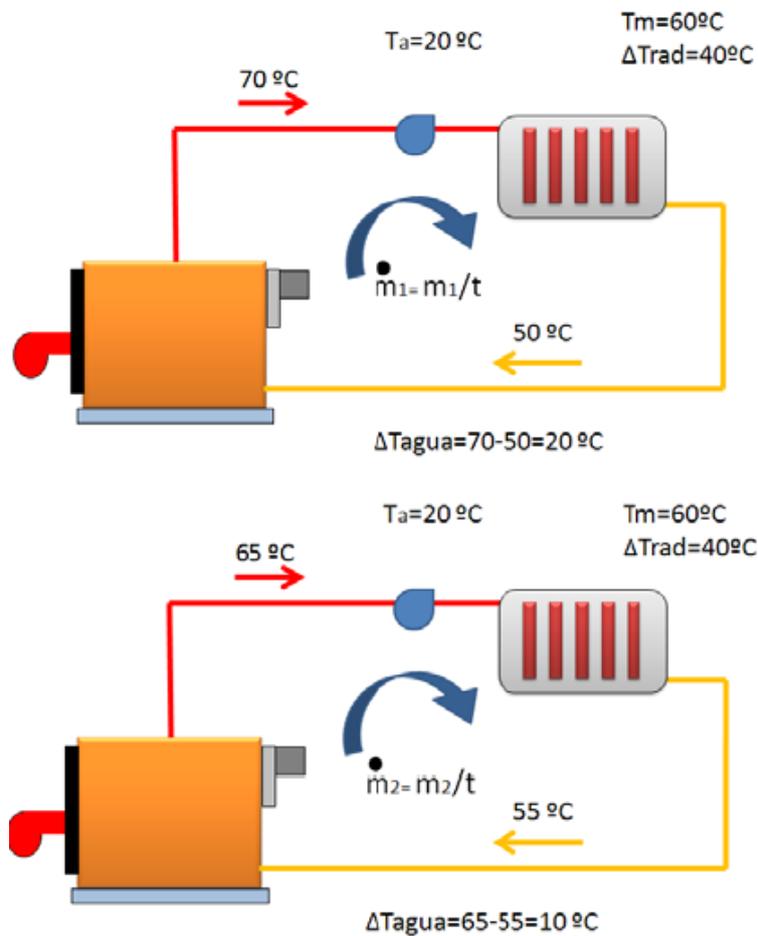


Ilustración 16: comparativa de la influencia del salto térmico del agua circulante

7.3. Condensados

En las calderas de condensación es necesario evacuar los condensados de los productos, por ello es necesario implantar un sistema de desagües para realizar dicha función.

El volumen de condensado siempre se desea que sea lo mayor posible para aumentar así la efectividad de la caldera de condensación.

Los condensados no deben influir en la combustión, por ello a la salida del circuito de humos se debe implantar un colector de material apropiado (PVC o acero inoxidable entre otros) para poder almacenarlos y evacuarlos sin problemas al exterior. A este colector debe incorporarse un cierre hidráulico en forma de sifón para neutralizar la depresión en ese punto por efecto de la chimenea.

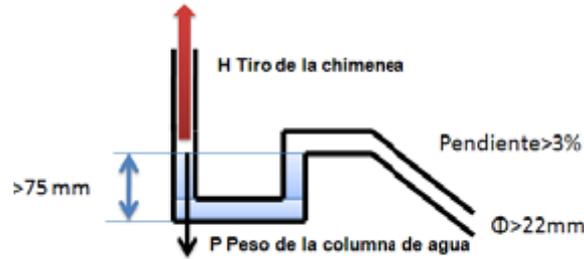


Ilustración 17: esquema del circuito de evacuación de condensados

A continuación se exponen una serie de requisitos para una correcta evacuación de los condensados:

- La caldera debe llevar un sistema de evacuación dotado de un cierre hidráulico con el fin de evitar la entrada en el circuito de malos olores. Un tamaño adecuado para este sifón es una altura de 75 mm o más.
- El sifón debe estar permanentemente lleno de agua, por ello en la instalación del sistema, debe llenarlo antes de que comience a funcionar.
- Si la caldera va a tener grandes períodos de paro, es recomendable incluir sifones de mayor capacidad y menor posibilidad de vaciado.
- El conducto de evacuación debe mantener una pendiente constante para asegurar la circulación en todo momento. Es recomendable que esta inclinación sea de al menos un 3%.
- El conducto no debe tener una longitud muy elevada, para poder evitar llegar a una situación de congelación del líquido. Se recomienda que la longitud no exceda los 3 metros de longitud.
- La sección del tubo debe ser lo suficientemente grande y no tener estrechamientos. Para recorridos internos se recomienda un tamaño de al menos 22 mm y para el tramo externo de mínimo 32 mm, reduciendo así la posibilidad de congelación.
- El sistema de evacuación no se debe fabricar en materiales como acero galvanizado o cobre. Los materiales con mayor serán el PVC, PE-HD, PP, ABS/ASA o acero inoxidable.
- En caso de que la localización de la caldera impida la evacuación de los condensados por gravedad, se deberá instalar bombas para realizar la circulación de los mismos.

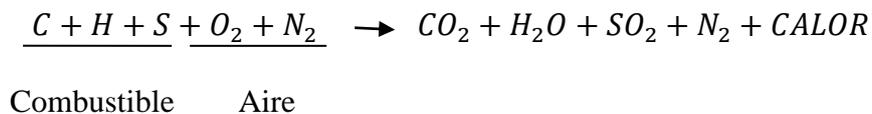
En caso de que la instalación superara los 70 kW, es conveniente tratar los condensados, previamente a su evacuación, para neutralizar su acidez. Esta acidez surge de la reacción de combustibles con un bajo contenido en azufre, cuyos principales productos surgen de la oxidación del nitrógeno (N₂) del aire, pasando a ser óxidos de nitrógeno (NO_x), los cuales reaccionan con el agua al condensar, formando ácido nítrico (HNO₃) que aporta ese carácter ácido (pH 4-5) (27) (28).

7.4. Humos

Como se ha comentado anteriormente, el carbono y el hidrógeno que posee el combustible, reacciona con el oxígeno formando dióxido de carbono (CO₂) y agua (H₂O).

También se debe tener en consideración que el combustible puede poseer otros elementos, como azufre, que reaccionan con el oxígeno formando óxidos de azufre (SO₂).

La reacción total puede expresarse como:



Además de esta reacción también tiene lugar una reacción del nitrógeno con el oxígeno, dando lugar a óxidos de nitrógeno (NO_x).

Debido a la menor temperatura de la reacción, en las calderas de condensación se genera un tiro menor y los humos tienen un volumen más reducido y por tanto, la pérdida de carga será reducida.

$$H = h * (\rho_{\text{humos}} - \rho_{\text{aire}})$$

Cuanto menor sea la densidad de los humos, menor será el tiro necesario (H).

Para la evacuación de los humos, se recomiendan conductos de materiales como acero inoxidable (especialmente los de tipo AISI 444, AISI 316 L O AISI 904 L), polipropileno autoextingible (PPs), polifluoruro de vinilideno (PVDF) o aluminio. Los PPs tienen una buena resistencia a la acción de los condensados y pueden trabajar hasta una temperatura de 120 °C mientras que los PVDF además de la resistencia a los

condensados, pueden llegar a trabajar a una temperatura de 170 °C aunque tienen un precio más elevado (27).

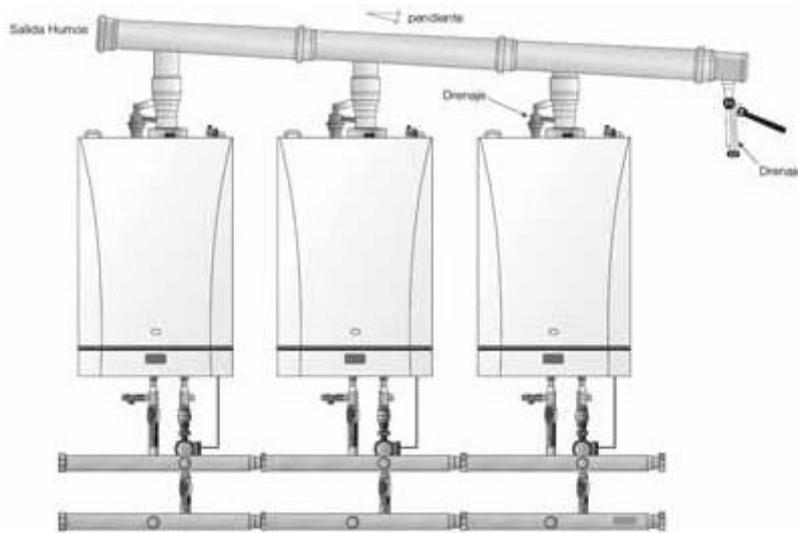


Ilustración 18: ejemplo de salida de humos en calderas de condensación

7.5. Rendimientos

Para referirnos al rendimiento de la caldera hablaremos de rendimiento útil nominal y rendimiento estacional.

7.5.1. Rendimiento útil nominal

En una caldera se genera una cierta cantidad de potencia, es lo que se conoce como potencia nominal (q_{nominal}), de la cual solo es aprovechada un porcentaje que se denomina potencia útil ($q_{\text{útil}}$) ya que parte de la energía se pierde por radiación de su envolvente (q_{rc}), por los humos (q_{hs}) que representa la pérdida de calor sensible y por los inquemados de la caldera (q_i).

Conociendo esto, se puede expresar el rendimiento útil nominal como:

$$\eta_u(\%) = \frac{q_u}{q_n} * 100 = 100 - \frac{q_{hs} + q_i + q_{rc}}{q_n}$$

La mayor parte de las pérdidas se corresponden a los humos, que dependen del exceso de aire de la combustión. Por tanto, a mayor exceso de aire en la combustión, mayor cantidad de humos, mayor temperatura tanto de humos como de los inquemados (generalmente bajos).

7.5.2. Rendimiento estacional

En los periodos de parón de uso, la caldera continúa cediendo calor al ambiente a través de su envolvente hasta enfriarse. Además también cede calor al circuito de humos por los periodos de parada y en los procesos de arrancada de prebarrido. Esto es lo que se conoce como pérdidas por disposición de servicio.

$$\text{Pérdidas de disposición en servicio} = \text{Pérdidas envolvente} + \text{Pérdidas ventilación}$$

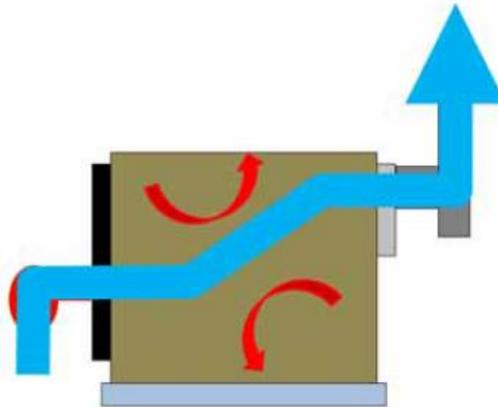


Ilustración 19: pérdidas de disposición en servicio

Considerando estos intervalos de parón de la caldera, se tienen tres periodos de tiempo diferentes, las horas de funcionamiento (t_f), las horas de parada (t_p) y las horas de arrancadas (t_a).

A continuación se muestra un diagrama en el que se puede apreciar la proporción de cada uno de los 3 tiempos de la caldera, en función de si se trata de un quemador de una marcha o de dos marchas.

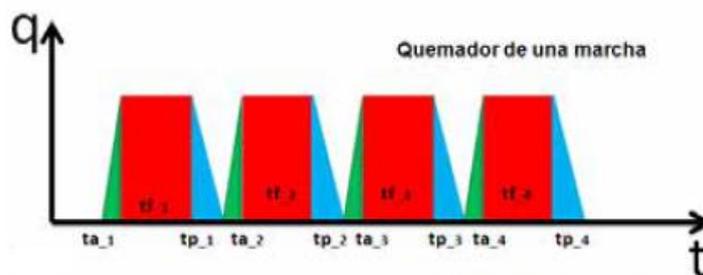


Ilustración 20: proporción de los tiempos con quemador de una marcha

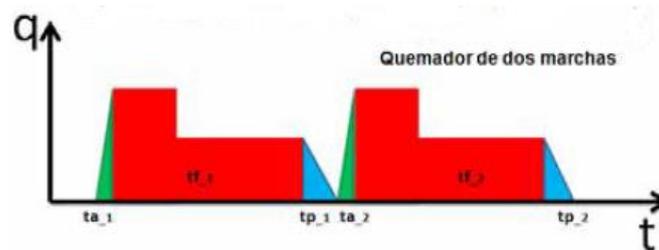


Ilustración 21: proporción de los tiempos con quemador de dos marchas

El tiempo total (t_T) se define como la suma de todos los tiempos de funcionamiento, parada y arrancada.

El rendimiento estacional siempre va a ser menor que el de generación, y disminuye con los números de arrancadas y de paradas puesto que las pérdidas por radiación y ventilación aumentan conforme aumentan estos tiempos. Por ello se prefiere usar quemadores de varias etapas, con el fin de evitar etapas de arrancada (27).

7.6. Instalación

Las calderas de condensación sirven para todo tipo de instalaciones, tanto de ACS como de calefacción. En este caso se centra en la calefacción, la cual se podría hacer por diferentes métodos como por ejemplo suelo radiante, sistemas todo aire o incluso calefacción por radiadores. Los dos primeros son sistemas de baja temperatura que permite un mayor aprovechamiento de las calderas de condensación pero la instalación resulta más costosa y debido a la superficie que se tiene, se optará por la calefacción por radiadores.

Para instalaciones de radiadores, el dimensionado debe hacerse para la menor de las temperaturas que se puede llegar a registrar en el exterior, pero la mayor parte del tiempo la temperatura será mayor por tanto, se debe poder regular para cada momento. Al tratarse de habitaciones individuales, se debe tener un termostato ambiente, manteniendo constante la temperatura de impulsión. En caso de tratarse de una instalación centralizada, se debe adecuar la temperatura a cada momento regulando la temperatura de impulsión conforme aumenta la temperatura del exterior, llegando a unas temperaturas de retorno más bajas.

La temperatura de trabajo está regulada por el RITE a 60 °C como máximo para las zonas accesibles de las instalaciones, por ello la instalación deberá estar diseñada para trabajar entre 50-60 °C.

8. Caldera de biomasa

La otra tecnología que se propone para satisfacer la demanda de calefacción es la caldera impulsada por biomasa.

8.1. La biomasa

La biomasa es toda materia orgánica, tanto de origen vegetal como de origen animal, que puede ser usada para generar energía, como por ejemplo los residuos que se generan en los cultivos (huesos de aceitunas, cáscaras de frutos o restos de poda entre otros) o restos de madera como pellets o serrín. Se excluyen de este grupo los combustibles fósiles en todas sus variantes, el uranio y sus derivados.

La materia orgánica tiene esta capacidad gracias a la energía química que se almacena en ella tras la fotosíntesis de plantas y árboles. Esta materia es utilizada posteriormente en un proceso de combustión para liberar todo su poder calorífico, con la diferencia de que el CO₂ generado es neutro, es decir, no daña al medioambiente debido a su origen vegetal.



Ilustración 22: ejemplo de biomasa

Para favorecer el proceso de combustión y facilitar el manejo es recomendable densificar y homogeneizar la biomasa así como reducir su humedad para evitar su biodegradación durante el almacenamiento.

8.1.1. Argumentos a favor (29)

- Es una energía con un gran número de subvenciones que apoyan a su utilización además de tener primas por producción que mejoran su amortización a largo plazo.
- Es una energía muy regulable. La potencia generada se puede variar a voluntad, de manera que siempre se podrá generar la potencia necesaria y desperdiciar la menor cantidad de energía posible.
- Se crea empleo rural por la necesidad de obtener materia orgánica que sea usada como biomasa.
- Energía limpia que reduce la emisión de gases de efecto invernadero (GEI)
- Favorece a la prevención de incendios ya que las zonas con vegetación seca son las más atractivas, debido al mayor poder calorífico de este tipo de flora.

8.1.2. Argumentos en contra (29)

- Materia heterogénea. a la hora de utilizar equipos de biomasa, es necesario utilizar un tipo determinado de biomasa, en función del diseño de la maquinaria. En caso de usar un tipo de biomasa para el que no ha sido diseñado nuestra máquina, el rendimiento del funcionamiento disminuirá o incluso ni funcionará.
- Falta de fiabilidad por riesgo en el precio de la materia prima en el futuro.
- La disponibilidad de materia prima suele ser estacional y dependiente del clima con lo cual, el precio puede ser oscilatorio a lo largo de un mismo año.
- No hay una normativa que regule la calidad de la biomasa.
- Equipos más caros y con un mantenimiento más elevado.

8.2. Funcionamiento

Las calderas impulsadas por biomasa necesitan la colocación de un silo para almacenar toda la biomasa. Desde ahí, un alimentador que funciona mediante succión o mediante tornillo sin fin lo lleva hasta la caldera donde finalmente tiene lugar la combustión. El silo en el que se almacena la biomasa debe mantener el biocombustible con una inclinación de al menos 45° para asegurar una correcta introducción en la caldera.



Ilustración 23: ejemplo de quemador de biomasa

En el proceso de combustión se pueden distinguir 3 partes:

- Zona de mezcla de combustible y aire primario: gracias a una combustión parcial, se gasifica la biomasa, es decir, pasa a ser un combustible en estado gaseoso.
- Zona de la llama: en esta zona el combustible entra en contacto con el aire secundario.
- Resto de la cámara de combustión donde no hay llama visible: en esta zona se sigue produciendo la combustión, pero la concentración de oxidaciones es baja e invisibles a simple vista, aunque es una zona que contribuye a disminuir la producción de CO e inquemados. En ocasiones esta zona está separada de la cámara de combustión, en ese caso se conocerá como cámara de postcombustión.

En cuanto a la temperatura de funcionamiento, el rango de temperaturas óptimo de operación es entre 600-900°C. Este intervalo debe respetarse ya que, en caso de trabajar por debajo de 600°C, se generan muchas más partículas de CO y si se opera a una temperatura superior a 900°C, la creación de óxidos de nitrógeno (NOx) se dispara además de provocar que deban usarse otros materiales más resistentes y costosos para construir la cámara de combustión. Por otra parte, la temperatura de la llama se determina en función del grado de humedad, de la densidad y del poder calorífico del combustible, por ejemplo cuanto más seco esté el combustible, menor será la temperatura necesaria para llegar a su combustión completa.

El calor que se genera durante el proceso de combustión, se transmite al circuito de agua en el intercambiador incorporado en la caldera. El agua caliente generada se utiliza para

los circuitos de calefacción y de ACS. En cuanto al sistema de calefacción se puede utilizar cualquiera de los convencionales de agua como suelo radiante, radiadores, fan coils...

En el proceso de combustión de la biomasa se produce algo de ceniza que se almacena de forma automática en un cenicero, que debe vaciarse de forma manual en torno a 4 veces por año. La generación de esta ceniza es proporcional al combustible utilizado.

Algunos modelos pueden incorporar de forma adicional un acumulador que almacena el calor de una forma similar que un sistema de energía solar (29) (30).

8.3. Como elegir el modelo

Cuando se va a instalar una caldera de biomasa, debe ponerse especial atención al tipo de biocombustible que utiliza. Aunque algunas calderas son capaces de soportar diferentes tipos de biomasa (conocidas como calderas de policonsumible), lo normal es que únicamente tolere el uso de un tipo determinado de biocombustible, como por ejemplo ocurre con las calderas de pellet.

Las calderas de policonsumible necesitan un mayor almacenamiento debido a su reducido tamaño y a su menor potencia. Este tipo de calderas son destinadas al ámbito industrial. Sin embargo las calderas de pellet, solo se alimentan de combustible específicamente diseñados para ellas. Estas últimas son las más utilizadas para potencias medias y para generar calefacción y ACS mediante acumulador en viviendas de hasta 500 m² que es la extensión de la casa rural en estudio.

Las calderas más comunes son las de pellet. Estas son capaces de satisfacer potencias entre 10 y 35 kW. El llenado puede ser de forma manual o mediante un silo que introduzca el pellet por succión o tornillo sin fin. Estas calderas pueden llegar a tener un rendimiento superior al 90% y tienen una modulación sencilla, para poder adaptar la generación a la demanda de potencia en todo momento.



Ilustración 24: caldera de pellet de baja potencia

Para unas potencias muy elevadas, se encuentran las calderas de astillas, aunque el número de fabricantes es más reducido. Son capaces de satisfacer potencias superiores a 500 kW. El diseño va en función del material que se quiera utilizar como combustible, como por ejemplo cáscara de almendra, hueso de aceituna o alperujo entre otros. El funcionamiento en estos modelos está totalmente automatizado y no requiere de la intervención de ningún operario (29).



Ilustración 25: quemador de pellet de alta potencia

También influye el grado de humedad del combustible para elegir un modelo u otro:

- Calderas de combustibles secos: diseños de caldera con baja inercia térmica y preparadas para soportar una llama relativamente intensa. La temperatura de la rejilla puede llegar a ser muy elevada y cristalizar las escorias.
- Calderas de combustibles húmedos: la parrilla donde se aloja la biomasa tiene una alta inercia térmica. El diseño debe ser de tal manera que permita que se pueda realizar lo suficiente el secado, consiguiendo que en el proceso de gasificación y oxidación se realice completamente y no se produzca humo negro.

8.4. Ventajas de una caldera de biomasa

- **Precio de la biomasa estable**: el precio de la biomasa, a diferencia de los combustibles fósiles, no tiene influencia del mercado internacional, por tanto el precio será más estable además de ser más barato en caso de comprar a granel.
- **Tecnología segura y avanzada**: en la actualidad, la biomasa es una tecnología desarrollada y segura que además precisa de un mantenimiento sencillo. Debido al alto poder calorífico de la biomasa (hasta 17000 kJ/kg), esta fuente de energía resulta muy rentable y genera unos rendimientos en los equipos que alcanzan el 90%.
- **Energía limpia e inagotable**: El CO₂ de las emisiones es neutro, ya que proviene de un combustible natural que se regenera. La extracción de la biomasa del medio natural ayuda a la limpieza de los montes y al uso de los residuos de las industrias (industrias madereras) previniendo además los incendios.

8.5. Desventajas de las calderas de biomasa

- **Menor poder calorífico**: si se compara con los combustibles fósiles, la biomasa tiene un poder calorífico inferior (1 kg de pellet tiene aproximadamente la mitad de poder calorífico que un litro de gasoil).
- **Gran espacio de almacenaje**: aproximadamente un m³ de biomasa pesa 650 kg. En un año el consumo medio de una caldera puede ser de unos 4000 kg por tanto será necesario almacenar en total 6 m³. El combustible se almacena en un silo situado próximo de la caldera, el cual se debe recargar de forma periódica por el usuario.

9. Evaluación económica

En este apartado se va a tratar de hacer una comparativa económica para poder evaluar el coste tanto de instalación como de mantenimiento de cada una de las dos tecnologías. A la hora de valorar el factor económico no solo se debe valorar el coste del equipo, sino que también se debe tener en cuenta el coste de mantenimiento y el coste del combustible entre otros.

9.1. Modelos elegidos

En primer lugar se deben seleccionar dos equipos capaces de satisfacer la demanda del lugar. En nuestro caso la demanda total es de 34.78 kW a la cual se le aplicara un factor de seguridad de 1.2 para tener un margen en casa de punta de demanda debido a una superocupación o debido a una ola de frío es decir, se tendrá una demanda total de 41.74 kW. Los modelos elegidos son los siguientes:

La caldera de condensación de gas natural elegida es el modelo ECONCEPT 51 A de la marca Ferroli. Con un precio en catálogo de 3950€. Se trata de una caldera de condensación para solo calefacción que tiene dos variantes de modelos, el modelo P impulsado por gas propano y el modelo N impulsado por gas natural que es el que finalmente se va a seleccionar. En cuanto a su tamaño, posee unas dimensiones de 720x630x380mm (31).

Se trata de modelos clase A según ErP con una alta eficiencia y un consumo bajo que puede llegar a ofrecer un rendimiento de hasta el 109% (referido al PCI del combustible). Posee un sistema antiheladas que activa la caldera cuando el agua de la instalación está por debajo de los 6 °C y posee unas emisiones de NOx reducidas adaptadas a las nuevas exigencias del RITE.



Ilustración 26: modelo de caldera de gas natural elegida

El modelo de caldera de biomasa elegido es el conjunto SFL 6 pellet de la marca Ferrol que tiene un precio de catálogo de 3765€. Se trata de una caldera diseñada para trabajar con leña o carbón pero puede adaptarse para que trabaje con pellet añadiendo los siguientes elementos:

- Accesorio de puerta para pellet
- Quemador de pellet SUN P7
- Contenedor de pellet

Este modelo está dentro de la categoría A⁺ según la normativa ErP y posee un rendimiento de 87.7% llegando a ofrecer una potencia de hasta 42 kW. Al hacer la adaptación para consumo de pellet se puede trabajar indistintamente con pellet o con madera. Toda la estructura está realizada en acero fundido y las dimensiones del equipo no son muy elevadas 940x520x840 mm (32).



Ilustración 27: modelo de caldera de biomasa elegida

Una vez elegidos los equipos, como se puede observar, la caldera de condensación tiene un precio de mercado menor ya que en la caldera de biomasa debemos añadir el costo de la adaptación a pellet. Además la caldera de condensación ofrece la posibilidad de satisfacer una demanda energética mucho mayor en caso de que sea necesario.

9.2. Coste del combustible

Por otra parte se debe tener en cuenta el costo del combustible de cada uno de los equipos. Para hacer una comparativa adecuada en cuanto al combustible, debemos hacer hincapié tanto en el coste como en el consumo de cada uno de los equipos. Ya que se desea hacer un cálculo del coste anual en combustible.

En el modelo ECONEPT 51 A N correspondiente a la caldera de condensación impulsada por gas natural se puede observar en su ficha técnica el dato correspondiente al consumo máximo de G20 o lo que es lo mismo de gas natural. El valor de este consumo es de 5.27 m³/h.

Si nos referimos al modelo de biomasa elegido, el conjunto SFL 6 de pellet, para conocer el consumo que puede tener el equipo se deben observar las prestaciones del quemador de pellet. El quemador que posee el equipo es el SUN P 12 y posee un caudal máximo de 11.6 kg/h.

Una vez conocidos los consumos de combustibles de ambos equipos se debe conocer el precio que tienen ambos en el mercado.

9.2.1. Combustible de la caldera de condensación

El precio del gas natural en España actualmente se sitúa en 0.025 €/kWh. El cálculo del coste se puede realizar de la siguiente manera:

- Con el caudal de combustible y el PCI se calcula la potencia de la caldera. Esto nos sirve de comprobación para la potencia útil que nos indica el fabricante:

$$Q = PCI * \dot{v} * \rho = 13 \frac{Kwh}{kg} * 5.27 \frac{m^3}{h} * 0.777 \frac{kg}{m^3} = 53.23 kW$$

Como se puede observar, la potencia obtenida es la misma que nos ha indicado el fabricante.

- Una vez comprobado el consumo máximo, se debe calcular el caudal necesario para satisfacer la potencia que necesita el hotel. La potencia que se desea obtener es de 41.74 kW. Debe tenerse en cuenta el rendimiento del equipo que en este caso es de un 109%, por ello la potencia teórica que se debe tener es de 38.29 kW por ello el caudal será:

$$\dot{v} = \frac{Q}{PCI * \rho} = \frac{38.29 kW}{13 \frac{Kwh}{kg} * 0.777 \frac{kg}{m^3}} = 3.79 \frac{m^3}{h}$$

- Ya se conoce el caudal de gas natural necesario. A continuación se debe calcular finalmente el precio por hora del combustible consumido por la caldera:

$$Coste\ de\ combustible = 38.29 kWh * 0.025 \frac{€}{kWh} = 0.96 €$$

9.2.2. Combustible de la caldera de biomasa

El precio del pellet actualmente se sitúa en 225.98 €/t. este dato se refiere a pedidos a granel en camión basculante pues se va a considerar que el hotel posee en el exterior un almacén suficientemente grande para almacenar el pedido íntegro, con el fin de hacer una comparativa más exigente (33).

Ya que el consumo del equipo viene en kg/s se debe calcular el equivalente en toneladas por hora para poder utilizar la conversión a dinero:

$$\dot{m} = 11.6 \frac{kg}{h} * 0.001 \frac{t}{kg} = 0.0116 t/h$$

Este sería el caudal máximo que podemos consumir, pero para ese consumo conseguiríamos una potencia de 55 kW y solo se necesitan 41.74 kW por tanto se puede realizar el cálculo de la misma manera que con el gas natural en el apartado anterior. Nuevamente se debe tener en cuenta el rendimiento del equipo, que en este caso es de un 87.7 %, por tanto la demanda teórica será 47.59 kW

$$\dot{m} = \frac{Q}{PCI} = \frac{47.59 kW}{4.57 \frac{Kwh}{kg}} = 10.41 \frac{kg}{h} = 10.41 \frac{kg}{h} * 0.001 \frac{t}{kg} = 0.0104 t/h$$

Finalmente con estos datos podemos calcular el coste por hora de combustible de la caldera de biomasa:

$$Coste de combustible = 0.0104 t * 225.98 \frac{€}{t} = 2.35 €$$

9.2.3. Comparativa final

Haciendo uso de los valores obtenidos para cada una de las tecnologías se puede hacer la comparativa final del costo de combustible. Dicha comparativa se hará con el gasto anual en cada uno de los dos combustibles.

Se estima que el funcionamiento de calefacción se hace entre los meses de octubre y mayo (ambos incluidos) haciendo uso de las temperaturas medias que hay en cada mes en la provincia de Toledo. En cuanto a las horas de funcionamiento, se tomará un funcionamiento medio de 16 horas, aunque en los meses extremos (octubre y mayo) no sean necesarias tantas horas.

Teniendo en cuenta esto se llegan a los siguientes datos:

- Gas natural: $0.96 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 16 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 243\text{día} = 3732.48\text{€}$
- Biomasa: $2.35 \frac{\text{€}}{\text{h}} * 16 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 243\text{día} = 9136.8.28\text{€}$

A parte del coste que nos supone el comprar el combustible, se deben tener en cuenta también las subvenciones existentes.

La orden del 02/12/2014 de la consejería de fomento establece las bases reguladoras de las ayudas, cofinanciadas por el fondo europeo de desarrollo regional, para el aprovechamiento de las energías renovables en Castilla-La Mancha (34).

En esta orden se establece que para instalaciones de biomasa las ayudas consistirán en un 30% del coste subvencionable. Este coste subvencionable se establece por unidad de potencia instalada que, en el caso de las calderas, es de 200 €/kW instalado. Conociendo que la potencia instalada es de 42 kW podemos conocer la cantidad que se percibiría por la subvención:

$$\text{Dinero Subvención} = 0.3 * \left(200 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * 42\text{kW} \right) = 2520 \text{ €}$$

Teniendo en cuenta la subvención, el coste final que supone anualmente el combustible de cada tecnología es:

- Gas natural: 3732.48€
- Biomasa: 9136.8€ – 2520€=6616.8€

Se puede observar que es mayor el coste de la biomasa que el del gas natural. Pero se deben tener en cuenta también las emisiones de cada una de las dos tecnologías, que se estudiarán en el siguiente apartado.

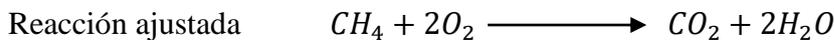
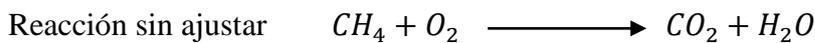
10. Evaluación medioambiental

El factor medioambiental es un tema muy presente en la sociedad actual debido a la preocupación por la destrucción progresiva de la capa de ozono y el calentamiento global. Además de todos los protocolos aprobados por organizaciones internacionales como el protocolo de Kioto (aprobado por las Naciones Unidas) o el de Montreal (aprobado por países de las Naciones Unidas, Santa Sede, Unión Europea y Estados de Micronesia, así como algunos países de América).

Para realizar la comparativa se va a realizar un cálculo de las emisiones que genera cada una de las tecnologías, emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y posteriormente, se tomarán los datos y se hará una comparativa de ambas tecnologías.

10.1. Caldera de condensación

Primeramente se debe ajustar la ecuación de la reacción del gas natural. Se va a considerar como gas metano, ya que en su composición, el gas natural está compuesto en un 97% por metano (35).



Una vez ajustada la reacción se puede conocer la proporción de masa de CO_2 generado por cada unidad de masa CH_4 empleada en la combustión.

$$\frac{1 \text{ mol } CO_2 * 44 \text{ g/mol}}{1 \text{ mol } CH_4 * 16 \text{ g/mol}} = \frac{11 \text{ g } CO_2}{4 \text{ g } CH_4}$$

A continuación se necesita conocer el calor que se genera por cada unidad de masa de metano. Para ello basta con conocer el PCI del metano y usar la conversión de julios a kWh.

$$\frac{Q}{m_{CH_4}} = PCI_{CH_4} = 40 \frac{MJ}{kgCH_4} = \frac{40 \frac{MJ}{kgCH_4}}{3.6 \frac{MJ}{kWh}} = 11.11 \frac{kWh}{kgCH_4}$$

Finalmente se puede calcular la generación de CO_2 por kWh

$$\text{generación de } CO_2 \frac{\frac{11 \text{ kg } CO_2}{4 \text{ kg } CH_4}}{11.11 \frac{kWh}{kgCH_4}} = 0.25 \frac{kgCO_2}{kWh}$$

Para conocer la generación de CO₂ final, basta con multiplicar la generación por el número de kW instalados. Debe tenerse en cuenta que la caldera tiene un rendimiento que ha de ser tenido en cuenta, como el rendimiento es superior al 100% (109%) la potencia teórica será menor que la real.

$$\eta = \frac{W_{real}}{W_{teórica}}$$

$$W_{teórica} = \frac{W_{real}}{\eta} = \frac{41.74 \text{ kW}}{1.09} = 38.29 \text{ kW}$$

$$\begin{aligned} \text{Generación final de CO}_2 &= 0.25 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{kWh}} * 38.29 \text{ kW} = 9.57 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{h}} \\ &= 9.57 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{h}} * 16 \frac{\text{h}}{\text{día}} * 243 \frac{\text{día}}{\text{año}} = 37217.88 \frac{\text{kgCO}_2}{\text{año}} \end{aligned}$$

La generación total de CO₂ anual será de 37.2 toneladas.

10.2. Caldera de biomasa

La caldera impulsada por biomasa se considera que las emisiones de CO₂ son nulas debido a que se considera compensado con el CO₂ que ha absorbido durante su vida.

El Pellet, al igual que todos los vegetales, realiza la fotosíntesis a lo largo de su vida y para ello necesitan hacer uso de CO₂ para transformarlo en O₂. Por esta razón se considera compensada la generación de dióxido de carbono durante su proceso de combustión en lo referente al ecosistema.

Esto no quiere decir que las emisiones de la combustión del pellet sean nulas, toda combustión lleva asociada una generación de dióxido de carbono, sino que a lo largo de su vida útil, se considera que el pellet elimina y genera la misma cantidad de CO₂.

10.3. Comparativa final

Como se puede observar con los resultados delante, la biomasa ofrece una alternativa limpia ante los combustibles tradicionales, llegando a ahorrar una emisión de 37.2 toneladas de CO₂ a la atmósfera.

Este es el factor fundamental del uso de tecnologías alternativas impulsadas con energías renovables, ya que en el momento actual en el que se vive se debe tener como objetivo el concepto “cero emisiones”. La biomasa ofrece una alternativa ecológica a los combustibles tradicionales como es el gas natural.

11. Resultados: comparación

A la vista de todos los datos recopilados de ambas tecnologías se va a proceder a realizar la comparativa final entre la caldera de condensación y la caldera de biomasa.

Como se ha podido observar, las calderas de condensación resultan más económicas que las de biomasa pero llevan asociado el inconveniente de la contaminación. Gracias al desarrollo de la industria y a la investigación tecnológica se ha conseguido llegar a las calderas de condensación que consiguen unas emisiones dentro de las exigencias de la normativa moderna y se consigue que los gases de escape tengan una temperatura menor.

Por otra parte, las calderas de biomasa ofrecen una alternativa a lo tradicional con unos niveles de eficiencia bastante adecuados. Es una tecnología que está en auge y en la que hay un gran potencial de mejora con la investigación ya que los rendimientos que se tienen en estos equipos aún están lejos de los conseguidos en equipos impulsados por gas natural. El precio del equipo no es mucho mayor aunque el gran desnivel económico se produce en el combustible, donde la caldera de gas natural toma la delantera. Para contrarrestar esa desventaja, la biomasa recibe subvenciones por su uso y gracias a esto la diferencia de precios se reduce.

Además de todo esto, debe tenerse en cuenta que el precio de los combustibles es variable con los años. La biomasa con los años no se verá muy afectada en el precio puesto que la producción frente a la demanda es sostenible pero el gas natural es un combustible fósil no renovable, por esta razón debe entenderse que en un futuro, el precio del gas natural irá incrementándose paulatinamente.

Se puede concluir la comparación afirmando que en la actualidad, para una misma demanda energética, la caldera de gas natural es más rentable económicamente aunque la diferencia con las de biomasa, gracias a las subvenciones, no es muy elevada y con los años esta diferencia se irá estrechando gracias a la inflación que irá sufriendo el gas natural a lo largo de los años mientras que la biomasa permanecerá estable. Mientras tanto, en el factor medioambiental donde la biomasa gana ampliamente al gas natural, ofreciendo unas emisiones que ni se consideran debido a que se tiene en cuenta la eliminación de CO₂ a lo largo de la vida útil de la biomasa y queda contrarrestado por las emisiones que se tengan en la combustión.

12. Factor socioeconómico

En todo proyecto es necesario hacer una valoración económica del proceso llevado a cabo, es decir, se debe hacer un presupuesto. En este presupuesto se deben detallar los costes de los empleados, de las herramientas y de todo lo empleado para su correcta realización.

En cuanto a los empleados, se tendrán dos ingenieros, uno senior (tutor) y uno junior (alumno). Las horas y los costes vienen detallados en la siguiente tabla:

Personal	Nombre	Coste unitario (€/h)	Unidades (horas)	Coste Total (€)
Ingeniero Senior	Sergio Sánchez Delgado	150	20	3000
Ingeniero Junior	Adrián Barrio Cortés	40	300	12000
				15000

Por otra parte, surgen los gastos ocasionados por los equipos utilizados y las herramientas utilizadas. Para la realización de los cálculos se ha empleado el software Microsoft Excel. Los precios aparecen desglosados a continuación.

Equipo	Unidades	Coste unitario (€)	Coate total (€)	Tiempo dedicación (meses)	Coficiente máximo (%)	Coste Imputable (€)
Ordenador	2	1000	2000	6	26	520
Licencia de Excel (36)	2	183	366	6	26	95.16
						615.16

Por último han de tenerse en cuenta los costes indirectos a lo largo de todo el proceso de realización de la comparativa. Se tomará como valor, un porcentaje de los costes directos, concretamente del 20%.

Con todo esto, el precio de realización del proyecto será de:

$$\text{Coste Total} = (15000 + 615.16) * 1.2 = 18738.19 \text{ €}$$

En cuanto al ámbito social, este proyecto demuestra la posibilidad de generar la energía necesaria para calefacción aplicando una política de emisiones mínimas sin dejar de lado la eficiencia y sin sufrir un incremento desmesurado en los costes de combustible.

Ofrece una alternativa sostenible para comunidades de vecinos que posean calefacción central, además de resultar más económico en caso de contar con un gran espacio de almacenamiento para poder realizar pedidos de grandes cantidades con el fin de disminuir los costes.

Socialmente es un proyecto que tiene su vista en un futuro no muy lejano, puesto que cada vez van tomando más fuerza las energías renovables y comienzan a estar más presente en nuestro día a día.

13. Conclusión

El objetivo de este proyecto era proponer una tecnología alternativa para la producción de calor, para poder mitigar las emisiones nocivas para la atmosfera debido al aumento exponencial de los gases de efecto invernadero. Para ello se realiza una comparación entre una caldera impulsada por gas natural y una impulsada por biomasa, tratando de demostrar que sin perder mucha eficiencia energética, se pueden mejorar las características medioambientales de la instalación sin dejar de lado el factor económico.

Se ha propuesto un emplazamiento en la CCAA de Toledo con el fin de hacer una comparativa más ajustada gracias a la cercanía de muchas fábricas de Pellet.

A continuación se ha realizado el estudio térmico del emplazamiento teniendo en cuenta que las cargas térmicas que se deben tener en cuenta son las de transmisión y la de ventilación puesto que el resto de cargas térmicas se traducen en un aumento de la temperatura interior y siempre se debe poner el caso más desfavorable para el estudio térmico.

Una vez realizado el estudio térmico de la casa rural en cuestión se ha escogido el modelo de caldera impulsada por gas natural y del modelo impulsado por biomasa, realizando un análisis de las características de los dos modelos para posteriormente realizar una comparativa económica y medioambiental de las mismas sin dejar de lado la eficiencia térmica.

Finalmente se llega a la conclusión de que la biomasa ofrece una energía limpia, aunque más cara que el gas natural pero al estar subvencionada, esta diferencia se ve reducida. Además con vistas en el futuro resulta una apuesta muy sólida ya que su precio no se

verá incrementado ya que las reservas de biomasa son infinitas al tratarse de una energía renovable.

14. Bibliografía

- (1) Protocolo de Kyoto de la convención marco de las naciones unidas sobre el cambio climático
- (2) Protocolo de Montreal relativo a las sustancias que agotan la capa de ozono.
- (3) Análisis del consumo energético del sector residencial en España (IDAE), 16 Julio de 2011.
- (4) Rehabilitación energética de viviendas. Resumen WWF 2017.
- (5) <http://www.mapama.gob.es/es/calidad-y-evaluacion-ambiental/temas/sistema-espanol-de-inventario-sei/>
- (6) Desarrollo de un sistema de control avanzado de la presión del vapor en una caldera de tubos de fuego. Autor: José Renato Rodríguez Vásquez.
- (7) Real Decreto 2429/1979, de 6 de julio.
- (8) Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo .
- (9) Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre.
- (10) Exigencia básica HE 1: Limitación de demanda energética.
- (11) Exigencia básica HE 2: Rendimiento de las instalaciones térmicas.
- (12) Real Decreto 235/2013, de 5 de abril.
- (13) REAL DECRETO 1027/2007, de 20 de julio.
- (14) Real Decreto 1618/1980, de 4 de julio.
- (15) Directiva de diseño ecológico ErP (Energy Related Products).
- (16) Directiva ELD.
- (17) Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios (RITE) (21).
- (18) RD 1853/93, de 22 de Octubre.
- (19) Directiva 2009/30/CE del 23 de Abril de 2009.
- (20) <https://es.climate-data.org/location/6374/>
- (21) <http://www.deceuninck.es/blog/que-orientacion-solar-es-mejor-para-mi-vivienda/>
- (22) Código técnico de la edificación (CTE).
- (23) Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación.
- (24) Norma Básica de la Edificación NBE-CT-79.

- (25) Documento de Apoyo al Documento Básico DB-HE Ahorro de energía DA DB-HE/1.
- (26) Análisis de la viabilidad de un sistema de energía geotérmica en una vivienda unifamiliar. Autor: Gil Pérez-Hickman, Eduardo.
- (27) Guía básica de calderas de condensación 2009 Fenercom.
- (28) <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/funcionamiento-calderas-de-condensacion.html>
- (29) <https://www.caloryfrio.com/calefaccion/calderas/calderas-de-biomasa-ventajas-y-funcionamiento.html>
- (30) <http://www.imartec.es/como-funciona-una-caldera-de-biomasa/>
- (31) Tarifa Ferrolli calefacción y aerotermia.
- (32) Catálogo biomasa Ferrolli.
- (33) https://www.dropbox.com/s/mbnjo71entwupko/Indice_AVEBIOM_Precio_Pellets%20de%20Madera_Agosto2017.pdf?dl=0
- (34) http://www.fedeto.es/noticias/ayudas_energias_renovables_2014.html
- (35) Guía práctica para el cálculo de emisiones de gases de efecto invernadero (oficina catalana del canvi climàtic).
- (36) <https://www.cnet.com/es/noticias/cuanto-cuesta-office-2016/>

