Universidad de Las Palmas de Gran Canaria

Máster Universitario en Eficiencia Energética

Tecnologías en Edificios de Energía de Consumo Casi Nulo

Autor: Israel Guerra Falcón

Tutores

Dr. D. Alejandro Ramos Martín

Dr. D. Fabián Alberto Déniz Quintana

Fecha: Diciembre 2015

Agradecimientos

Me gustaría agradecer sinceramente a mis tutores del Trabajo Final de Máster, Dr. D. Alejandro Ramos Martín y a Dr. D. Fabián Alberto Déniz Quintana por su esfuerzo, paciencia y motivación han sido fundamentales para para la realización de este proyecto.

Este trabajo se lo dedico a mi familia sin su apoyo constante y su orientación la realización del máster y del proyecto habría sido imposible.

Resumen

El presente trabajo final de máster pretende realizar una revisión bibliográfica para conocer los avances relacionados con las tecnologías en un edificio de consumo de energía casi nulo y el análisis de varias de esas propuestas para comprobar cuáles pueden ser aplicadas a Canarias. Esas medidas son aplicadas a nivel de instalaciones y a nivel arquitectónico.

Referente a los sistemas usados para la obtención de edificios de consumo casi nulo, seguiremos la Directiva 2012/27/UE donde se insiste en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la Unión Europea para alcanzar en 2020 el objetivo de ahorrar un 20 % en el consumo de energía en comparación con los valores previstos. También seguiremos la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, además del Plan de Acción de Ahorro de Eficiencia Energética 2011-2020 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en colaboración con el IDAE.

Para ello, se efectúa una fase de investigación en revistas especializadas y otras fuentes que nos darán a conocer la frontera del conocimiento en este campo. Por tanto, permitirá establecer y trazar objetivos secundarios de interés para futuras nuevas líneas de investigación.

Abstract

In this paper, I and my tutors have sought a historical presentation of the techniques and concepts evolution that lead to energy efficient buildings as we know them today, is presented. An over view of the modern approach for the design of the main elements of such type of buildings is also presented.

The Canary Island the dominant climate is dry and humid subtropical, but because of its position in the Atlantic and its terrain there are many microclimates very significant. All along the year solar radiation is plentiful and the daily range of temperature during the summer is large, due to dry and clear conditions. This environment allowed to design and build a zero energy concept building (a detached single family house) on the basis of passive heating and cooling technologies, supported, when required, by short time active conditioning.

Índice

Capítulo 1 Introducción 8
1.1 Antecedentes históricos 8
1.1.1 Evolución en el siglo XX 10
1.2 El camino hacia los edificios de consumo de energía casi nulo 11
1.3 Objetivos y estructura el trabajo 12
Capítulo 2 Los conceptos actuales de diseño para edificios eficientes 14
2.1 Construcción de baja energía 15
2.1.1 Elementos de diseño y características 15
2.2 Nuevos conceptos, ciclo positivo de energía en los edificios 19
2.3 Estandarización y normativa 19
Capítulo 3 Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (SET-Plan). 22
3.1 Los ZEBs como parte integral de las ciudades inteligentes 22
3.1.1 Prácticas de diseño ambiental y desarrollo 22
3.1.2 Fuentes de Energía Renovable (RES) 23
3.1.3 Etiquetado de equipos electromecánicos en los edificios 23
3.1.4 Gestión de la Energía Inteligente 24
3.2 Contribución de los ZEBs en las ciudades inteligentes 25
3.3 Consideración basada en la sostenibilidad holística 26
3.4 Consideraciones del ciclo de vida 26
3.4.1 Construcción de bajo impacto 26
3.5 Efecto rebote 26
Capítulo 4 Clasificación consumos 28
4.1 Construcción 28
4.1.1 Elementos críticos de construcción 28
4.2 Las condiciones internas 29
4.3 Sistemas de servicios de construcción 29
Capítulo 5 Las energías renovables y otras tecnologías 34
5.1.1 Fotovoltaica (PV) y Fotovoltaica Integrada en el Edificio (BIPV) 34
5.1.2 Tecnologías eólicas 35
5.1.3 Solar térmica 35
5.1.4 Bombas de calor 35

5.1.5 Centralización de la calefacción y refrigeración urbana 36
Capítulo 6 Consecuencias para el desarrollo sostenible y otros trabajos de investigación 38
6.1 Coste del ciclo de vida y el medio ambiente 38
6.2 El cambio climático 39
Capítulo 7 Climatología Canarias 42
7.1 Inversión térmica 42
7.2 Corrientes marinas 43
Capítulo 8 Propuesta de edificios de consumo casi nulo en Canarias 44
8.1 Estrategias pasivas adaptadas el clima de Canarias 44
8.1.1 Usos de la inercia térmica en edificios de baja altura 44
8.1.2 Mejoras para la temporada de enfriamiento 45
8.2 Descripción de la construcción del concepto de edificio de consumo casi nulo 45
8.3 Prototipo de vivienda unifamiliar Passivhaus 46
8.4 Aplicación del Documento Básico HE1 Ahorro de Energía 47
8.4.1 Clasificación de los espacios 48
8.4.2 Método de cálculo 49
8.4.3 Cálculo de la transmitancia (U) 51
8.4.4 Comprobación de la condensación superficial 53
8.4.5 Comprobación de condensaciones intersticiales 53
8.5 Diseño según las condiciones climatologías de Canarias 55
8.5.1 Límite inferior de la zona de confort 55
8.5.2 Límite superior de la zona de confort 55
8.5.3 Influencia de la velocidad del viento en el confort 56
8.5.4 Cartas de radiación solar 56
8.5.5 Orientación óptima para Canarias 57
8.6 Necesidades de captación o protección solar 58
8.6.1 Captación solar 58
8.6.2 Protección solar 59
Capítulo 9 Climatología Las Palmas de Gran Canaria y soluciones 60
9.1 Condiciones de confort en el interior 60
9.2 Monitorización de la vivienda unifamiliar: 60
9.2.1 Ejemplo de casa bioclimática en Canarias 61
Capítulo 10 Conclusiones y líneas futuras 64

Capítulo 11 Referencias Bibliográficas 66

Capítulo 1 Introducción

En este trabajo vamos a dar a conocer qué es un edificio de consumo casi nulo, realizando una revisión bibliográfica de las tecnologías existentes para diseñar edificios de consumo de energía casi nulo, además como objetivo secundario se establecerán criterios para su posible aplicación a Canarias. Se harán referencias a la directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo que tiene como finalidad alcanzar el objetivo de aumentar la eficiencia energética de la Unión Europea en un 20% para 2020 y preparar el camino hacia las mejoras de eficiencia.

También habrán referencias a la a Directiva Europea 2010/31/UE, donde se introduce la definición de edificio de consumo de energía casi nulo, y se plantea como un edificio altamente eficiente desde el punto de vista energético, donde la casi nula o muy baja energía demandada, procederá de fuentes renovables, producidas in situ o en el entorno. Se establece, por otro lado, que a partir del 31 de diciembre de 2020 todos los edificios de nueva construcción sean edificios de consumo de energía casi nulo, adelantando esta obligación a 31 de diciembre de 2018 a todos los edificios ocupados por las administraciones y de titularidad pública.

1.1 Antecedentes históricos

Hoy en día, en Europa, el sector de la construcción es responsable de cerca del 40% del consumo total de energía primaria [1] y hay un potencial significativo en la reducción del consumo de energía. En este sentido, los análisis y las intervenciones son de gran actualidad y están relacionadas con el ahorro de energía al tiempo que garantizan las condiciones de confort adecuadas. Esto se conoce como la eficiencia energética de un edificio. Con esto se logran varios objetivos importantes del desarrollo sostenible, la reducción de la demanda de energía, y la reducción de las emisiones al medio ambiente.

Con el fin de desarrollar nuevas tecnologías y estrategias para mejorar la eficiencia energética de los edificios es importante conocer la evolución de estos a lo largo de la historia y los problemas con los que se han encontrado a lo largo del tiempo. Ya que sin entender la evolución de los consumos de energía de los edificios eficientes, los nuevos conceptos y las nuevas soluciones para reducir el consumo de energía en este sector van a ser difíciles de imaginar.

La eficiencia energética de un edificio se relaciona principalmente con dos componentes: propiedades pasivas dadas por el aislamiento térmico, la radiación solar capturada, ventilación natural, el sombreado; y propiedades activas dadas por el equipo de captura, conversión y utilización de la energía (energía renovable). En este sentido, se deben explicar las tendencias de diseño utilizadas, su utilidad y la comodidad tanto como el costo para las personas que se benefician de ella.

Desde la antigüedad, el hombre ha encontrado la manera de utilizar diferentes estrategias para mejorar las condiciones de vida de las viviendas, entre las que se puede enumerar, entre otras: los mecanismos naturales, las técnicas de construcción, etc...

Se encontró que en 5500 AC en la región de los Cárpatos [2], se utilizaba una solución arquitectónica en la que las casas se construían parcialmente enterradas, obteniendo de esta manera una temperatura interior más estable. Los beneficios de las propiedades térmicas de la tierra también se utilizaron más tarde en las casas de los Capadocios, comunidades Esenios de Oriente Medio y los nativos americanos.

Una evolución de los diseños del captador de viento (en persa, بادگیر *bâdgir* [3]; en árabe, ملقف *malqaf* [4]) es un dispositivo arquitectónico utilizado durante muchos siglos para proveer de ventilación natural y refrescamiento al interior de los edificios. Otra mejora en el confort térmico basada en el diseño de la estructura de la pared se materializa por los egipcios usando gruesos muros de ladrillo o azulejos [5]. Más tarde los romanos también usaban el calentamiento con gases de combustión que fluyen a través de cavidades en el suelo o las paredes [6], a este sistema se le llamo hipocausto. El principio de funcionamiento del sistema es sencillo, como elemento de generación de energía térmica se utilizaba un horno de leña, para distribuir el calor se hacían pasar los humos por un "falso suelo" elevado con pequeños pilares (40-60cm) formados por pilas de ladrillos.

Posteriormente, estos humos eran conducidos a través de huecos practicados en el interior de las paredes hasta la parte alta del edificio donde se evacuaban al exterior.

De esta forma se conseguía aumentar la temperatura del suelo y las paredes transmitiendo el calor al aire interior mediante convección y radiación. Otra de las funciones del Hipocausto era calentar el agua de los baños calientes mediante la conducción el calor a través del suelo, tal y como se puede ver en la figura número 4 y 5.

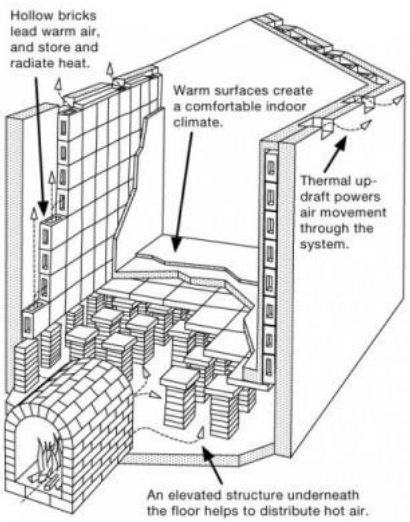


Fig.1. Plano sección de una vivienda romana donde se aplica el sistema de hipocausto

Fig.2. Imagen real de Villa Romana de Toralla donde se aplica el sistema de hipocausto

Con este ejemplo y otros muchos podemos demostrar que ya en la antigüedad se habían obtenido mejoras en la eficiencia energéticas de las casas. Y que muchas de estas mejoras son consideraras como parte importante de la cultura de diferentes regiones.

El siglo XIX marcó la madurez de clasicismo en la ciencia y el progreso también se produjo en el dominio de los edificios. Esta fue una de las épocas más importantes de los descubrimientos científicos de sentido clásico. En la última década del siglo XIX, los trabajos científicos en el campo de la construcción implicaron estudios sobre el efecto del aislamiento térmico en la parcela de la transferencia de calor, la formación y el transporte de la humedad en las paredes, las configuraciones de múltiples capas de las ventanas, etc.

1.1.1 Evolución en el siglo XX

A principios del siglo 20, los investigadores ya tenían los fundamentos teóricos y tecnológicos para alcanzar el objetivo futuro de una casa energéticamente eficiente. Carrier inventó el equipo eléctrico del aire acondicionado y más tarde desarrollo el diagrama psicrométrico.

A finales de los años 50 el sistema de almacenamiento de energía fue uno de los temas más importantes, en el área de la edificación. Uno de estos proyectos se materializó en Alemania en 1984 como el primer almacenamiento de energía térmica a largo plazo [7].

Los años 60 vinieron con el entusiasmo del procesamiento de datos de la carga térmica por computación, que se convierte en un método muy útil para evaluar la eficiencia energética de los edificios [8].

La crisis del petróleo de 1973 determina la amplificación de los intereses de la eficiencia energética de los edificios. La sociedad se vuelve más preocupada acerca de la estanqueidad de los edificios, super-aislamiento, la recuperación de calor en el sistema de ventilación, uso de ventanas de cristal triples y tecnologías pasivas que principalmente se orientan al uso de la energía térmica del sol. En este tiempo, los viejos conceptos son redefinidos por Brenda y Robert Vale: Casas Autosuficientes, Casa Autónoma y Casa Verde [9]. Por ejemplo para una casa de Nottingamshire, Inglaterra se usaron materiales reciclados locales tales como ladrillos rotos, bloques de hormigón hechos de ceniza de los residuos procedentes de una estación de energía local, etc. Una casa de cuatro dormitorios que en su libro "La Nueva Casa Autónoma" documenta el diseño y construcción de esta casa, que es calentada y alimentada por el sol, produce su agua potable de la lluvia, trata biológicamente sus efluentes, y está en consonancia con su contexto histórico. La casa está completamente fuera de los sistemas clásicos de suministros urbanos, a excepción de la línea telefónica y de la conexión a la alimentación eléctrica. Esta última toma energía eléctrica de la red cuando los ocupantes están utilizando más energía que la producida por los paneles solares montados detrás de la casa, y en ocasiones se inyectan a la red los excedentes de generación. La casa fue considerada prácticamente autosuficiente desde el punto de vista energético y del suministro de agua [10].

Como resultado de los avances tecnológicos en la década de 1980, se creó el primer "edificio inteligente". Hans Aek construye una casa con las propiedades de "Ultra-Low-Energy" y Wolfang Feist promueve el concepto de " Schrecksbach House (Casa de la energía baja)" [11,12].

A finales de los años 80, inspirado en las casas de energía eficiente de la década de 1970, Wolfgang Feist en colaboración con Bo Adamson esbozó el concepto de " Passive House (Casa pasiva)".

En 1992, la primera casa energéticamente autónoma, diseñada por el Instituto Fraunhofer de Energía Solar de Friburgo, Alemania [13]. Debido a un gran aislamiento y a las tecnologías de energía solar, se pudieron cubrir las propias necesidades sin la ayuda de fuentes externas de energía [14].

En 1994, se creó un nuevo estándar llamado Minergie. Especialmente desarrollado para edificios nuevos y renovados, Minergie es un sello suizo de calidad para edificios de bajo consumo de energía basado en las ideas de Ruedi Kriesi y Heinz Uebersax [15]. Podemos ver un esquema de las medidas aplicadas en este estándar en la figura 3.

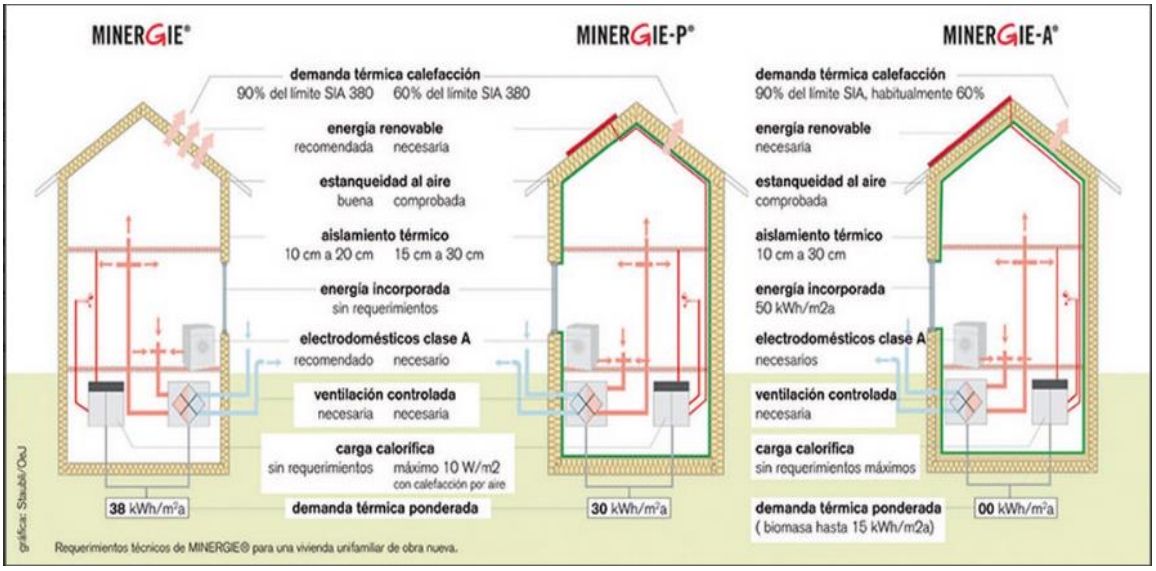


Fig. 3. Esquema estándar vivienda unifamilar Minergie

En 1994, también entró en funcionamiento la primera casa en la que se producía un exceso de energía, es decir la cantidad de energía producida fue mayor que la consumida. La casa construida en Friburgo fue diseñado por el arquitecto Rolf Disch. Las tecnologías energéticas implementadas en el edificio son en su totalidad son fundamentadas por fuentes renovables [16].

En 1995 W.Feist desarrolló el estándar de Passive House, un estándar basado en la experiencia de la construcción y operación. El Instituto Passive House fundado en 1996 y dirigido por F. Feist comenzó a promover la norma y establecer requisitos claros.

El concepto de edificio inteligente surgió aproximadamente en 1980, cuando varios edificios integraron gradualmente el control de los diversos equipos y sistemas. Inicialmente, los sistemas automatizados implementados en los edificios se dedicaron a trabajar por separado en cada máquina [17], más tarde aumento su complejidad hasta ser capaz de controlar varios sistemas. Hoy en día, un solo sistema integra la capacidad de supervisar y controlar la seguridad, la calefacción, el aire acondicionado y los sistemas eléctricos. Los últimos modelos llevaron a la implementación de la supervisión y control a través de los sistemas inalámbricos e Internet.

1.2 El camino hacia los edificios de consumo de energía casi nulo

Las exigencias de ahorro de energía incluidas en el DB HE buscan el uso eficiente, prudente, racional y sostenible de la energía en los edificios, haciendo compatible la satisfacción de las necesidades de confort y otras prestaciones de los edificios con la reducción del consumo energético y de las emisiones de gases de efecto invernadero asociadas. De lo anterior se derivan impactos positivos relativos a una menor dependencia energética del país, la protección del medio ambiente, un mayor confort térmico de los usuarios de los edificios, y una menor dependencia de los usuarios respecto a las variaciones futuras de los precios de la energía.

El marco de referencia de estos edificios viene fijado en la Directiva 2010/31/UE, según la cual los nuevos edificios que se construyan a partir de 2020 (2018 en edificios públicos) deberán ser de consumo de energía casi nulo. Aun cuando la Directiva no incluye una definición concreta de las condiciones que han

de cumplir dichos edificios, de modo que cada país debe concretar el significado de consumo de energía casi nulo en su contexto climático y tecnológico, el concepto implica un muy alto nivel de eficiencia energética y cubrir el consumo restante fundamentalmente a partir de energía proveniente de fuentes renovables, pudiendo generarse esta in situ o en el entorno del edificio.

Para poder alcanzar estos objetivos en el futuro es necesario:

- Establecimiento de las exigencias de eficiencia energética mediante indicadores globales, como el consumo energético y la demanda energética.
- Incremento en los niveles de exigencia respecto de los del año 2006, que deberán intensificarse de forma progresiva en la próxima actualización del DB HE, hasta alcanzar los objetivos de edificio de consumo de energía casi nulo en 2020 (2018 en edificios públicos).

1.3 Objetivos y estructura el trabajo

Los objetivos que nos planteamos con este proyecto son la realización de un estudio del arte para conocer los avances relacionados con este ámbito y el análisis de varias de esas propuestas para comprobar cuáles pueden ser aplicadas a Canarias.

Para lograr estos objetivos, realizaremos un estudio del arte, referente a los sistemas usados para la obtención de edificios de consumo casi nulo, siguiendo la Directiva 2012/27/UE donde se insistían en la necesidad de incrementar la eficiencia energética en la Unión para alcanzar en 2020 el objetivo de ahorrar un 20 % en el consumo de energía en comparación con los valores previstos. Siguiendo también la Directiva 2010/31/UE relativa a la eficiencia energética de los edificios, además de el Plan de Acción de Ahorro de Eficiencia Energética 2011-2020 del Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, en colaboración con el IDAE. Tras haber realizado dicho estudio, se establecerá un criterio para clasificar las diferentes posibles soluciones. Tras esta clasificación, pasaremos a analizar estas soluciones viendo cuales pueden ser aplicadas en Canarias.

Este trabajo se divide en varios capítulos. En el primero podemos ver la “introducción”, los antecedentes históricos y los objetivos del proyecto. En el segundo capítulo podremos ver los “conceptos actuales de diseño para edificios eficientes” donde hablamos de que aunque las opciones y el estilo específicos pueden variar, las casas de bajo consumo tienen algunos elementos básicos en común como por ejemplo: aislamiento, estanqueidad de la envolvente, uso de recuperador de calor, ahorro energético, uso de tecnologías renovables… En el tercer capítulo podemos ver el “plan SET (Plan de Tecnología Energética)” que representa la herramienta de apoyo a la toma de decisiones principal de la política de tecnología energética europea. En el cuarto capítulo “clasificación de consumos”, se habla en términos generales, de la significativa influencia que las medidas de eficiencia energética tienen sobre el consumo de energía en los edificios y que estas pueden ser agrupados en tres categorías: construcción, condiciones internas y los sistemas de servicios en la construcción. En el quinto capítulo “Las energías renovables y otras tecnologías”: discutiremos que incluso con la adopción de las mejores medidas de eficiencia energética disponibles, aún se requiere energía para alimentar el funcionamiento de un edificio en el día a día. Esto en las ZEBs se logra a través del uso de las energías renovables y otras tecnologías. En el capítulo 6 se discutirá sobre las “Consecuencias para el desarrollo sostenible y otros trabajos de investigación”: se cree que hay por lo menos hay tres áreas que necesitan mayor discusión y requieren un mayor coste de investigación y desarrollo: el ciclo de vida y el medio ambiente, el cambio climático, y las cuestiones de política social. En el capítulo 7 “Climatología en Canarias”: se hablara del clima dominante en Canarias,

que es subtropical seco y húmedo, pero que debido a su posición en medio del Atlántico y a su relieve existen numerosos microclimas muy significativos. En el capítulo 8: “Propuesta de edificios de consumo casi nulo en Canarias”: comentaremos las principales problemáticas, como puede ser el enfriamiento. Se plantearan medias activas (bomba de calor…) y pasivas (protección solar…). Además se deben realizar simulaciones de la energía consumida, para optimizar y corregir el proceso de diseño, y así dar lugar a un balance de energía óptimo y a unas condiciones de confort térmico favorables. En el capítulo 9 “Climatología Las Palmas de Gran Canaria y soluciones”: hablaremos del clima concreto de Las Palmas de Gran Canaria y de las condiciones de confort. También se hablara sobre la monitorización de una vivienda unifamiliar.

Capítulo 2 Los conceptos actuales de diseño para edificios eficientes

En este capítulo nos vamos a encontrar diferentes conceptos de edificios eficientes, desde lo que se puede encontrar en la norma a las interpretaciones y evoluciones de los investigadores. Porque aunque las opciones y el estilo específicos pueden variar, las casas de bajo consumo tienen algunos elementos básicos en común como resultado de un patrón establecido de diseño: super aislamiento de las paredes, ventanas y puertas, configuración compleja para adaptarla al lugar, estanqueidad de la envolvente, uso de recuperador de calor en los sistemas de ventilación y calidad del aire interior, calefacción y frío de alta eficiencia, equipos de energía solar y dispositivos de ahorro energético.

En esta sección se describen varias soluciones aplicadas para mejorar la eficiencia del diseño. La mayoría de ellas son las reglas de diseño emitidas en 1970 por investigadores Norteamericanos o en el 1990 por la escuela alemana de Passive House y PlusEnergy House. También hay soluciones ingeniosas propuestas por varios autores en la sección 2.1.1 Elementos de diseño y características.

Teóricamente, existen varias maneras para reducir el elevado coste y alcanzar los requisitos de eficiencia energética de edificios, por ejemplo existen muchos materiales de aislamiento relativamente baratos que están disponibles en el mercado. Sin embargo, es importante utilizar materiales, equipos y soluciones adecuadas para cada aspecto. Un problema que parece contradictorio para las casas pasivas está vinculada a su hermeticidad. La alta estanqueidad del aire que buscamos reduce las pérdidas de calor, pero los resultados del intercambio natural de aire se reducen a niveles muy bajos entre el interior y el exterior, provocando un ciclo de renovación lento del aire. Para evitar problemas de calidad del aire se recomienda una tasa mínima de flujo de aire intercambiado de 9...30 m^3 / h / per cápita. Para mantener una calidad del aire (concentración CO_2 entorno al 0.1%). Podemos obtener más información sobre este tema referente a la legislación española en el Documento Básico DB-HE «Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación.

La ventilación puede ser proporcionada por un sistema de ventilación mecánica con alta tasa de recuperación de calor (unidad MVHR), que trabaja de forma continua y asegura unas mínimas pérdidas de calor. Feist (2006) recomienda la instalación de una unidad de recuperación si la temperatura es a menudo por debajo 8 Cº o por encima de 32 Cº y el uso de la tierra como un "buffer (almacén)" dada la estabilidad de su temperatura, para la calefacción o la refrigeración por aire.

El precalentamiento o pre-enfriamiento del aire con recursos termales naturales es un método específico para las casas energéticamente eficientes. De esta manera, se reduce la carga de equipo dedicado a la calefacción o la refrigeración.

En la actualidad, en el diseño de las casas energéticamente eficientes se incluyen ventanas con capas "Low-E" o de baja emisividad que están dotados de una capa especial a ambos lados del vidrio lo que les permite tener un mejor desempeño térmico. En el verano, cuando la temperatura exterior es mayor que la interior, la capa de baja emisividad exterior no permite el paso de la radiación térmica y reflejándola, reduce las ganancias de calor solar. En el invierno, el recubrimiento de baja emisividad en el lado opuesto refleja la radiación térmica reduciendo la pérdida de calor hacia el exterior.

2.1 Construcción de baja energía

La "construcción de baja energía" por lo general se caracteriza por un alto nivel de aislamiento, ventanas de alta eficiencia energética y un bajo nivel de fugas de aire. Una construcción de este tipo tiene a menudo un sistema de ventilación mecánica. No existe una definición global de estos edificios unánimemente aceptada en todo el mundo. La definición más general dice que un edificio de baja energía es una construcción con un rendimiento energético más alto que la eficiencia de un edificio estándar.

Para el caso de un "Edificio Ultra Baja Energía " la incorporación de sistemas de energía renovable podría traer la condición de "Nearly-Zero Energy" o incluso "Net-Zero-Energy" / "Plus-Energy"

La casa pasiva reduce el consumo de energía para calefacción / refrigeración y emisiones de CO_2 por un factor de 10 en comparación con un antiguo edificio [18]. En comparación con las casas construidas de acuerdo a las normas vigentes, el factor de reducción de energía es de aproximadamente entre el 2 y el 4. La casa pasiva es un estándar muy popular no sólo en la zona residencial, sino también en el sector terciario. La norma se puede aplicar a los edificios públicos, comerciales e incluso edificios industriales [19].

Según las actualizaciones del DB HE 2013 se incluirán una exigencia limitadora del consumo de energía primaria no renovable en el caso de edificios nuevos y ampliaciones, incluyendo un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m^2 al año. Otra novedad importante del DB HE 2013 es el tratamiento específico de las intervenciones en edificios existentes, para las que se incluyen exigencias concretas en la Sección HE 1. Las exigencias aplicables a las intervenciones en edificios existentes dependen del alcance de la intervención.

2.1.1 Elementos de diseño y características

En este apartado trabajaremos sobre conceptos modernos de diseño para edificios energéticamente eficientes como son el propio diseño, el posicionamiento, la orientación y la geometría, el sombrado, las características de las paredes, la protección contra la humedad, las fuentes de calor internas, las ventanas, el recuperador de calor en los sistemas de ventilación, la comodidad, la carga de energía y los aspectos económicos.

Diseño

- Tiene que ser equilibrado y tener en cuenta lo máximo posible los detalles de los fenómenos térmicos y ganancias de calor internas. Por ejemplo, el calor producido por el metabolismo de las personas, es un factor importante que debemos tener en cuenta.
- Los algoritmos de diseño deben tomar en cuenta el mayor número posible de parámetros para tener una mayor garantía de lograr las condiciones definidas.
- La vivienda debe implementar un sistema de monitorización, este debe tener un alto grado de precisión de todos los procesos en el tiempo.
- Una vivienda de consumo de energía casi nulo requerirá un sistema de medición para monitorizar y administrar la energía intercambiada entre la energía generada por la vivienda y la red de distribución.

Posicionamiento

- Baja exposición a los vientos del invierno y un lugar ventilador en verano
- Una cortina de árboles a una distancia aceptable (que no produce efecto significativo de sombreado) puede ser útil en la limitación de la velocidad del viento en invierno y por lo tanto disminuye la pérdida de calor.
- La integración del edificio en el paisaje es uno de los deseos de los edificios sostenibles.

Orientación y geometría

- Orientación solar y el sombreado deben maximizar la ganancia de calor solar en invierno y minimizarlo en el verano [18].
- En la geometría de la casa debe establecer un coeficiente de compacidad (relación entre el área de la envolvente y el volumen del edificio) lo más pequeña posible y menor de 1.

Sombreado

- Los balcones, aleros, persianas venecianas, espalderas, las cubiertas, los árboles, estos son algunos ejemplos de objetos de sombreado pasivos. Los protectores solares activos representan también una solución eficiente para grandes edificios que tienen grandes áreas de acristalamiento, con el beneficio de la radiación térmica solar y el control de la iluminación.
- Uso de las sombras naturales (árboles, vegetación) con el fin de reducir la radiación solar del verano.
- Las superficies reflectantes o áreas verdes (vegetación) reducen la ganancia solar en verano.
- Árboles que den sombra a las ventanas y / o paredes para los momentos críticos de la temporada y de la jornada [18].

Características de las paredes

- Para el espesor del aislamiento hay un punto en el que se ofrece la máxima eficiencia, la superación de este umbral provoca un exceso de inversión.
- Para la situación anterior, se recomienda una evaluación sobre si la adición de paneles fotovoltaicos para comprobar si podría ser más rentable que aumentar aún más el espesor del aislamiento.
- Se requiere que la cubierta del edificio sea altamente aislada, tener una baja permeabilidad del aire y no tener puentes térmicos.
- El aislamiento térmico reduce la interacción térmica del edificio con el exterior, minimizando así la variación de la amplitud de la temperatura del aire interior.
- Con el fin de comprobar los valores del coeficiente lineal de la pérdida de calor por puente térmico (debería ser inferior a 0,01 W / m / K), se realizara un análisis por elemento finito que deberá llevarse a cabo durante el diseño de la envolvente del edificio.
- Las superficies interiores deben tener temperaturas superiores a las temperaturas de rocío correspondientes a la zona climática, para con ello evitar la acumulación de humedades en las mismas [20].

- Una capa de barrera radiante (se llama así a aquellos conjuntos que inhiben la transferencia de calor mediante radiación térmica) instalado bajo el techo evita que más de 95% de la radiación solar.
- La adopción de un diseño adecuado sobre las conexiones entre sus elementos deberá limitar los puentes térmicos con el fin de evitar la condensación y las pérdidas de calor locales.
- Se suele aplicar la estrategia de usar materiales los más naturales posible (con un bajo grado de elaboración y contenido químico), para la disminución de la huella ecológica...
- El uso de paredes con amplia inercia térmica que absorba la radiación solar y estabilice la temperatura interior cuando sea necesario.

Protección contra la humedad

- Los materiales utilizados en la construcción de la envolvente deben limitar la penetración de vapor de agua a través de los materiales en un lado y permitir el secado de los mismos por el otro lado.
- El uso de barrera de vapor o retardador de la difusión del vapor en un material reduce la velocidad de transmisión de los vapores, evita condensaciones intersticiales y mejora el control de la humedad de la envolvente térmica.
- La ventilación natural de la fachada evacua la humedad de la envoltura, podemos encontrar más información referente a este tema en el DB HS Salubridad, en la sección HS1 Protección frente a la humedad.

Fuentes de calor internas, ocupación

- En el proceso de diseño, todas las fuentes de calor internas deben ser consideradas (electrodomésticos, iluminación, personas, etc.)

Ventanas

- Según nuestro paralelo debemos maximizar la superficie de las ventanas en la zona sur,y reducir al mínimo de la superficie de las ventanas en la zona norte.
- El uso de ventanas de cristal triple con doble acristalamiento de baja emisividad disminuye considerablemente la transmitancia térmica, y además disminuye las perdidas por radiación térmica emitidas hacia el exterior en la ventana.
- El espacio entre las capas de vidrio debe estar compuesto de gases como el argón, kriptón o mezcla para reducir la transferencia de calor por convección (la convección se caracteriza porque se produce por medio de un fluido(líquido o gas) que transporta el calor entre zonas con diferentes temperaturas).

Recuperación de calor en los sistemas de ventilación

- Las rutas de los conductos del sistema de ventilación de aire por lo general están incrustados en techo y las paredes y esto da un beneficio de interacción con su masa térmica. Mediante la colocación de los tubos en las paredes, se guarda el espacio y la estética de la habitación no se ve afectada.

Comodidad

- Debe de ser considerado un flujo de aire de 20-30 m^3/ h por persona [21]. Este apartado debe ser ampliado con el HS 3 Calidad del aire interior, contenido dentro del Documento Básico de Salubridad.
- Se debe usar una unidad de recuperación de calor con una eficiencia térmica de al menos el 75% [22].
- Cuando se prefiera la ventilación natural en lugar de una mecánica, es importante comprobar si se produce efecto chimenea significativo que pueda proporcionar el mínimo necesario de intercambio de aire por hora.
- La ventilación natural mejora la eficiencia energética de una casa y también lo acerca al concepto de "Green House". Por un lado, este tipo de ventilación no requiere consumo de energía y elimina el impacto ambiental, pero en el otro lado es muy difícil controlar el caudal y la temperatura del aire interior.
- La ventilación cruzada se puede utilizar en verano (accionada por el viento) permitiendo al aire frío libre entrar y el aire interior caliente salir a través de puertas y ventanas [23]. El uso de ventilación por chimenea solar es también una solución de ventilación natural.
- Ventilación pasiva por efecto de chimenea de un espacio vertical (torre) en el que el flujo de aire por convección va hacia arriba creando vacío que hace que el aire frío entre a través de aberturas en la parte inferior de este espacio.
- En el diseño del sistema de ventilación, las zonas de "aire estancado" deben ser evitados y la velocidad del aire no exceder de 0,5 m / s.
- Los sistemas que emplean energía renovable debe ser capaces de asegurar la temperatura del aire interior de al menos 16,5 ºC incluso al aire libre temperaturas de 10 ºC. La energía restante necesaria para calentar el aire para el valor comodidad, será asegurada por otras fuentes.
- La temperatura de la superficie interna de las ventanas para variar con amplitud pequeña y ser próxima a la de la superficie de las paredes para evitar molestias locales.
- Uso del Modelo Fanger u otros para la estimación más precisa del confort térmico que debe proporcionarse.
- Humedad: recomendada de intervalos entre 40% ... 60% o como rango máximo el 30% ... 70%.

Aparatos eléctricos

- Con el fin de reducir el consumo de energía en virtud de un valor máximo en función de la norma impuesta y de la sincronización de los objetivos globales de edificios de consumo casi nulo, se recomienda utilizar un equipo con al menos la clase A+ de eficiencia energética.
- En comparación con la iluminación de las bombillas incandescentes, el uso de los fluorescentes o lámparas LED baja significativamente el consumo de energía y aumenta la esperanza de vida de las luminarias.

Carga de energía

- Reducción de 8 a10 veces la carga de calefacción / refrigeración en comparación con una casa de construcción clásica.

Aspectos económicos

- La recuperación de la inversión adicional se produce de 16 a 30 años, en función de la solución y equipo elegido.
- En general, el costo adicional para los sistemas requeridos por una casa pasiva es 5%- 15% del costo total de la casa.

2.2 Nuevos conceptos, ciclo positivo de energía en los edificios

En 2006, NREL introdujo el término de Net-Cero Energy (NZEB) destacando el logro de la producción de energía, sobre la base de sistemas de energía renovable [24]. El término "Net" es una abreviatura de la "Red Eléctrica".

Torcellini et al. (2006)[25] en base a varios criterios detalla el concepto de "edificio energía cero" (ZEB) y propone cuatro definiciones diferentes. Entre ellas el Net Zero Energy Solar en (NetZSEB). El edificio produce en un año por lo menos la misma energía que se consume. El equilibrio se basa en factores de conversión de energía primaria para la importación o exportación de energía.

El “Ciclo positivo de energía en los edificios” representa el último desafío en el sector de la construcción. Este tipo de construcción es capaz de producir más energía de la que consume y puede entregar el exceso a las redes locales o públicas. El Ciclo Positivo Energía en una Red Local es una nueva tendencia que sirve como premisa de las ciudades energéticamente independientes.

Existe una clasificación teniendo en cuenta la conexión a la red eléctrica pública " Plus Energy Building", donde produce el exceso de energía y el déficit temporal se compensa con la red pública y "Off-Grid Zero Energy" donde el sistema general de producción y almacenamiento de energía tienen redundancia por sobre-dimensionamiento con el fin de compensar cualquier déficit en la producción de energía [26-27].

Actualmente hay preocupaciones para regular los proyectos de energía que implican a la red inteligente de tal manera que pequeños y grandes inversores en Net-Zero o Plus Energy Buildings puedan tomar las ventajas concretas de esta solución. La mayoría de las dificultades permanecen al plano político y parten del sistema clásico de la distribución de la energía eléctrica.

2.3 Estandarización y normativa

Muchos países de todo el mundo han llevado a cabo una intensa labor de investigación y desarrollado sus propias normas. Los que se mencionan con más frecuencia debido a los resultados significativos de las investigaciones, y también debido a sus rigurosos estándares son: USA (ASHRAE, RESNET – Residential Energy Services Networkand EnergyStar Certificationand HERSIndex); Canada (R-2000 Standard); Germany (EneEV – EnergySaving Ordinance, Passivhaus Standard, DIN-Deutsche Industrie Normen); Swiss (Minergie Standard); Denmark (DS – Danish Standard); France (RT2012 – Regle- mentation Thermique); UK (BS – British Standard); Sweden (SBC – Sweedish BuildingCode); Finland (NBCF – National Building Code

of Finland) and Australia (NatHERS – Nation wide House Energy Rating Scheme). Normativa Europea (EN) emite constantemente las normas que están destinadas a ser aplicados en todos los países miembros y algunos de los requisitos se encuentran en un terreno común con la norma ISO.

De acuerdo a la directiva relativa a la eficiencia energética de los edificios (Directiva 2010/31 / UE), los edificios de consumo de energía casi cero (ZEBs) se describen como edificios que tienen cero emisiones de carbono sobre una base anual. En la práctica, esto se puede lograr mediante la reducción de la demanda energética del edificio y por la explotación de fuentes de energía renovables (FER) usando tecnologías apropiadas para satisfacer las necesidades de energía. Según la normativa anteriormente citada, todos los edificios nuevos deberían ser de consumo casi cero de energía a partir de 2020, mientras que los nuevos edificios públicos deben dar el ejemplo al cumplir con este requisito con dos años de antelación. Además, la Comisión Europea anima a los Estados miembros a desarrollar políticas, medidas financieras y otros instrumentos para la promoción de la transformación de todos los edificios existentes en ZEBs.

El estándar Passivhaus se considera como el estándar más influyente a nivel internacional con más de 25.000 proyectos certificados en Europa. Se ha desarrollado a través de una serie de proyectos por el profesor Wolfgang Feist del "Instituto de Vivienda y Medio Ambiente de la Universidad de Darmstadt en Alemania". De acuerdo con esta norma para el centro de Europa, los edificios deben ser diseñados de forma que su demanda anual de energía para la calefacción y la refrigeración no excederá el 15 kWh / m^2 / año, ni que su consumo de energía superen una carga térmica máxima de 10 W / m^2 [28]. Además, el consumo de energía primaria total anual de los edificios no debe superar el 120 kWh / m^2. Para que un edificio pueda alcanzar el estándar Passivhaus, se espera que incluya altos niveles de aislamiento y los mínimos puentes térmicos, así como una mayor utilización de las ganancias solares e internas con fines de calefacción. La ventilación es otra característica importante de los edificios Passivhaus.

En Francia, la BBC-Effinergie incorpora los requisitos reglamentarios para la eficiencia energética de los edificios. La etiqueta de la BBC-Effinergie puede ser adquirida por los edificios, cuyos requisitos de energía primaria para calefacción, refrigeración, ventilación, agua caliente, y la iluminación no exceda el 50 kWh / m^2 / año [29]. El Código Británica para hogares sostenibles utiliza un sistema de clasificación de estrellas en función de la sostenibilidad para evaluar el rendimiento global de sostenibilidad de un edificio. Un edificio puede lograr de una a seis estrellas dependiendo de la extensión que alcanza los estándares mínimos del Código, que se encuentran en nueve áreas, incluyendo el uso de la energía, las emisiones de dióxido de carbono y agua. Sobre la base de este sistema de clasificación, las seis estrellas pueden ser adquiridas por los edificios que tienen cero emisiones de carbono.).

El sistema de calificación LEED evalúa también edificios en una amplia gama de categorías. De hecho, LEED tiene unos 100 posibles puntos básicos distribuidos en seis categorías de crédito, incluyendo sitios sustentables, eficiencia de agua, energía y atmósfera, materiales y recursos, calidad medio-ambiental y la innovación en el diseño. Además, concede cuatro puntos adicionales de prioridad regional y seis puntos adicionales para la innovación en el diseño o la innovación en las operaciones (USGBC, 2014).

Capítulo 3 Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética (SET-Plan).

El plan SET (Plan de Tecnología Energética) representa la herramienta de apoyo a la toma de decisiones principal de la política de tecnología energética europea. Aspira a la promoción de las tecnologías de baja emisión de carbono a través de la aceleración del desarrollo de conocimientos, la transferencia de tecnología y la absorción por su contribución a la consecución del Proyecto 2020 y la transición de Europa a una economía baja en carbono para el año 2050 (Comisión Europea, 2014).

Las iniciativas industriales dentro del plan SET son los siguientes:

- La Iniciativa del Viento
- La Iniciativa Europa Solar (fotovoltaica y energía solar térmica)
- La Iniciativa de Red Eléctrica
- La Captura de Carbono, Transporte y Almacenamiento
- La Iniciativa Nuclear Sostenible
- La Iniciativa de Bioenergía Industrial
- La Iniciativa de Ciudades y Comunidades Inteligentes
- La Iniciativa Tecnológica Conjunta sobre Pilas de Combustible de Hidrogeno

Un nuevo enfoque para el balance de energía en la red ZEBs fue presentado por Bourrelle, Andresen, y Gustavsen (2013). De hecho, se apoya que el enfoque más apropiado para medir la contribución de los ZEBs en los actuales desafíos ambientales, es el enfoque de la energía de amortización. Además, en este trabajo se recomienda que la definición de ZEBs debería revisarse para indicar que un ZEBs no debe requerir ninguna energía no renovable.

3.1 Los ZEBs como parte integral de las ciudades inteligentes

La metodología normalmente aplicada pretende demostrar el potencial de los ZEBs en contribuir al desarrollo de las ciudades inteligentes. En primer lugar, las disposiciones de un ZEB serán consideradas como parte integrante de una futura ciudad inteligente, que a continuación serán identificadas y presentadas.

- Prácticas de diseño ambiental y desarrollo
- Fuentes de Energía Renovable (RES)
- Etiquetado de los sistemas técnicos de construcción
- Gestión de la Energía Inteligente

Estos conceptos también se resumen en la Fig. 4.

3.1.1 Prácticas de diseño ambiental y desarrollo

La definición ZEB implica que la eficiencia energética del edificio se incrementa al minimizar su demanda de energía. Esto podría lograrse a través de diseños de edificios adaptados al clima y a la región, así como las prácticas de construcción que reduzcan la demanda energética del edificio. El “Diseño Ambiental del Edificios” tiene como objetivo explotar la ganancia de calor solar pasiva y el sombreado, combinado con

masas con una gran inercia térmica para estabilizar las variaciones de temperatura diurnas durante todo el día, así como la ventilación natural [30]. La minimización de la energía requerida para los propósitos de calefacción y refrigeración se consigue también mediante el aislamiento térmico adecuado del edificio, con el objetivo de reducir al mínimo la transmitancia térmica de la envolvente del edificio [31]. En este sentido, los materiales de aislamiento contemporáneas e innovadores, tales como aislamiento sólido [32], el aislamiento de vacío [33], ventanas de vacío [34], y cold roof [35] se emplean para la mejora del rendimiento energético. Otra característica importante de los ZEBs es la eliminación de puentes térmicos, para no sólo restringir la energía que se pierde, sino que también evitar que se forme condensación que podría provocar daños a la estructura del edificio [36]. Una tendencia adicional con respecto a la evaluación ambiental de los materiales de construcción en los ZEBs es su Análisis de Ciclo de Vida (ACV), que incorpora todo el ciclo de vida de los productos, incluyendo: las emisiones de carbono y costos necesarios para la extracción de materias primas, fabricación, transporte y eliminación de los productos [37].

3.1.2 Fuentes de Energía Renovable (RES)

Se espera que debido a la reducida demanda de energía eléctrica y térmica de los ZEBs puedan autoabastecerse de forma anual a partir de energía entregada in situ o ex situ a través de las RES. Las RES que se consideran actualmente como aplicable para la generación de energía en el lugar son: la energía solar y la biomasa.

Los paneles fotovoltaicos convierten la luz solar en electricidad, mientras que los paneles térmicos utilizan la luz solar para convertir la energía solar en energía térmica para ser utilizado con fines de calefacción y refrigeración, así como para el agua caliente sanitaria [38]. La biomasa es actualmente entre los RES más populares. Las calderas de biomasa utilizan una amplia gama de recursos para la producción de electricidad y calefacción [39].

Tecnologías que explotan el viento, la hidráulica o la energía geotérmica también pueden ser usadas, sin embargo, hay limitaciones en cuanto a sus aplicaciones en entornos urbanos densos, por lo que restringe su aplicación en la escala pequeña y su integración en los edificios.

3.1.3 Etiquetado de equipos electromecánicos en los edificios

Etiquetado ecológico es otro elemento que ofrecen los ZEBs que disminuye la brecha de comprensión entre la mayoría de las personas y los equipos que utilizan. Las Directiva UE 2010/30 establece un marco normativo en Europa para proporcionar la información del usuario final por medio del etiquetado y la información estándar del producto, junto al consumo de energía y de ser necesario otros recursos esenciales relacionados con la energía, permitiendo así que los usuarios finales puedan elegir los productos más eficientes. Los principales electrodomésticos a los que se refiere la presente Directiva son los siguientes:

- Acondicionadores de aire
- Calderas
- Lavavajillas
- Lámparas
- Aparatos de refrigeración

- Televisión
- Lavadoras-secadoras
- Lavadora
- Bombas de agua

Ya el 90% de los aparatos vendidos en Europa hoy en día son de clase "A", además los electrodomésticos actuales en Europa utilizan 40% menos energía que los modelos convencionales en 2001 [30].

Además, los ZEBs incorporan iluminación de bajo consumo y tecnologías de iluminación asequibles, incluyendo lámparas fluorescentes compactas (CFL) y diodos emisores de luz (LEDs). El uso de menos luz en los ZEBs no sólo ahorra energía, sino que también reduce la ganancia de calor y por lo tanto ahorra energía adicional del aire acondicionado y mejora el confort térmico.

3.1.4 Gestión de la Energía Inteligente

Sistemas de gestión energética de edificios (BMS) son otro elemento clave de los ZEBs. Los BMS (Building Management System), son un sistema de gestión de edificaciones, basado en un software y hardware de supervisión y control instalado en edificios. Son responsables de la continua gestión de la energía del edificio, así como el ahorro de costes que se consiguen. Los BMS realizan seguimiento de equipos mecánicos y eléctricos del edificio, incluyendo la ventilación, la iluminación, sistemas de energía, sistemas contra incendios y los sistemas de seguridad. Además de realizar un seguimiento efectivo, y una orientación del consumo eficiente de energía del edificio, los BMS también proporcionan a los ocupantes un buen control de las condiciones de confort térmico en el interior.

Prácticas de Diseño Ambiental y Desarrollo

-Diseño ambiental en edificios

-Contemporáneos e innovadores materiales de construcción

-Mejores prácticas de diseño (por ejemplo, evitar los puentes térmicos)

Fuentes de Energéticas Renovables

-Solar térmica

-Calderas de biomasa

-Turbinas de viento

-Turbinas hidráulicas

-La generación de energía geotérmica

Etiquetado de Equipos Electromecánicos en los Edificios

-Etiquetado ecológico para los aparatos de aire acondicionado, calderas, ventiladores lavavajillas, lámparas, aparatos de refrigeración, televisión, lavadoras-secadoras, bombas de agua.

- Requisitos mínimos para los sistemas de calefacción, sistemas de agua caliente, sistemas de aire acondicionado y sistemas de ventilación grandes

Gestión Inteligente de la Energía

Fig.4 Kylili, P.A. Fokaides / Sustainable Cities and Society 15 (2015) 86–95

3.2 Contribución de los ZEBs en las ciudades inteligentes

En referencia a los ZEBs se prevé que contribuirá de manera significativa a que las ciudades inteligentes cumplan sus objetivos en relación a la eficiencia energética, el ahorro de energía y la generación de energía renovable. Se ha estimado que los nuevas ZEBs pueden reducir su consumo de energía por dos tercios de la media en comparación con el consumo energético de los edificios actuales [40]. A un nivel más pragmático, para cierto estudio que examina una gama de soluciones arquitectónicas y técnicas para el diseño de una planta de edificio de usos múltiples “el consumo de energía cero ". Se han desarrollado 5 casos de estudio, cuyo consumo de energía varió de 0 a 17 kWh / m^2 en los distintos casos de estudio. [41].

Un logro de este orden de magnitud en las reducciones de energía tendrá un impacto significativo y podrían acelerar el desarrollo de las ciudades inteligentes. Sin embargo el hecho de que los edificios europeos de los entornos urbanos actualmente consumen la media del consumo total de energía [42]. Y que el ritmo de desarrollo de nuevos edificios en la UE es del 1% [43]. Los edificios existentes seguirán consumiendo los actuales niveles de energía, mientras que la transición a la construcción de los ZEBs sólo comenzará después del año 2020.

La contribución de los ZEBs en las ciudades inteligentes dependerán de una serie de factores entre las que influyen, por ejemplo, las condiciones climáticas que varían considerablemente en toda Europa constituyen un aspecto crítico en cuanto a como debemos calcular del consumo energético de los edificios, y otros factores que también influyen, para definir la contribución de los ZEBs en las ciudades inteligentes son: que debemos conocer el uso del edificio, así como el comportamiento de los usuarios del edificio.

3.3 Consideración basada en la sostenibilidad holística

Sobre la base de los trabajos científicos revisados, así como el análisis de este trabajo, se puede afirmar con seguridad que la noción de los ZEBs es actualmente un concepto establecido que contribuirá significativamente al desarrollo de las ciudades inteligentes y al cumplimiento de la eficiencia energética, al ahorro de energía, y que tendrá una alta responsabilidad en la generación de energías renovables. Sin embargo, existen algunos puntos controvertidos importantes con respecto a la sostenibilidad de los ZEBs que ya han sido identificados y se discuten aquí próximamente, como son: Análisis de Ciclo de Vida (ACV) y el Efecto Rebote.

3.4 Consideraciones del ciclo de vida

La creencia habitual de que la contribución de los ZEBs a la eficiencia energética y los objetivos de reducción de carbono es excepcionalmente alta, esta creencia es cuestionada por una serie de obras recientes que emplean Análisis de Ciclo de Vida (ACV). De hecho, la mayoría de los estudios tiene en cuenta sólo la energía durante la fase de uso del edificio, mientras que la energía incorporada de los materiales de construcción apenas ha sido tenida en consideración en la literatura. [44] Preguntan si los nuevos edificios, independientemente de su nivel de eficiencia energética puede contribuir a alcanzar los objetivos de reducción de carbono, al considerar las altas emisiones de GEI (gases de efecto invernadero) que tienen en un corto tiempo asociado con el inicio del ciclo de vida del edificio. Se argumenta que la construcción de nuevos edificios energéticamente eficientes causan un aumento de carbono tan significativo en la fase de construcción que los beneficios de la mejora de la eficiencia energética sólo se producen después de varias décadas.

Además, se demuestra que la renovación de un edificio existente mediante la incorporación de soluciones de eficiencia energética puede conducir a pequeños aumento de carbono durante la fase de construcción y dan como resultado el mismo consumo reducido de energía como los nuevos edificios energéticamente eficientes.

3.4.1 Construcción de bajo impacto

El tema de la “construcción de bajo impacto” se basa en incidir la atención sobre la reducción de la energía, el impacto ambiental de los materiales y los recursos asociados con la construcción de edificios [45]. La selección de auténticos materiales de construcción naturales y renovables, los productos alternativos y sistemas con bajas emisiones de carbono, se recomiendan sobre los productos altamente procesados y manufacturados. Bajo esta premisa se ha dado a conocer una nueva metodología para dar cuenta de la energía incorporada de los materiales de construcción y nombra como "Life Cycle Zero Energy Building (LC-ZEB)' [46]. El nuevo término LC-ZEB se refiere a los edificios cuyo principal uso de energía es en el funcionamiento, más la energía consumida en los materiales y sistemas durante la vida útil del edificio, esta energía consumida debe de ser igual o menor que la energía producida por los sistemas de energía renovables dentro del edificio. En relación a las inconsistencias que podemos encontrar en varios resultados de ACV de varios edificios que se han analizado, surgen debido a las opciones metodológicas y la selección de conjunto de datos.

3.5 Efecto rebote

El efecto rebote se ha citado en la economía como una razón probable de por qué la mejora de la eficiencia energética no han dado lugar a las correspondientes reducciones en el uso energético de los edificios [47]; [48]; [49]; [50] [51]. El dinero ahorrado de: por ejemplo, la adopción de medidas energéticamente

eficientes en edificios abre las posibilidades de consumo de energía en otros lugares. En consecuencia, esta reasignación de consumo de energía se reduce significativamente los beneficios, en términos de emisiones de carbono.

Capítulo 4 Clasificación consumos

En términos generales, las medidas de eficiencia energética tienen una significativa influencia sobre el consumo de energía en los edificios y estos pueden ser agrupados en tres categorías:

Construcción:

En ese apartado fundamental para la mejora pasiva encontramos: aislamiento térmico e inercia térmica, debemos tener muy en cuenta ventanas /vidrios y los techos reflectantes / verdes.

Las condiciones internas:

En esta sección nos referimos a las condiciones de diseño de interior y las cargas térmicas internas (debido a la iluminación eléctrica, al número de personas y a los electrodomésticos).

Sistemas de servicios de construcción:

En este punto veremos los sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado (HVAC), y los servicios eléctricos (incluyendo iluminación) y transporte vertical (ascensores y escaleras mecánicas).

4.1 Construcción

Las técnicas de diseño basadas en la inercia térmica se han adoptado para bajar la temperatura diurna en el interior. Estas técnicas de inercia térmica se han adoptado desde basándonos en lo principios del trabajo de Givoni [74]. Recientemente, los méritos de la masa térmica se evaluaron sistemáticamente mediante análisis de sensibilidad [75]. En general se cree que la inercia térmica debe integrarse con ventilación nocturna mediante métodos naturales y/o mecánicos, para optimizar el potencial de ahorro de energía. Tal estrategia de diseño ha demostrado ser eficaz para evitar el sobrecalentamiento de verano y reducir las necesidades de refrigeración [76,77]. Esto podría ayudar a mitigar el impacto del calentamiento sobre la cubierta.

4.1.1 Elementos críticos de construcción

Ventanas y vidrios: el enfoque general es reducir el WWR (relación entre ventana y pared) (es decir, área de la ventana más pequeña), y el uso de sistemas de acristalamiento doble / triple con vidrios de baja emisividad con gas inerte en su cavidad tienen como objetivo el minimizar la cantidad de ganancia y pérdida de calor [78]. El doble / triple acristalamiento no sería muy eficaz para enfriar edificios que tienen grandes cargas de calor internas en climas cálidos, donde se utiliza a menudo vidrio reflectante solo para limitar la cantidad de ganancia de calor solar. En estos casos se optaría por reducción del área de la ventana y el vidrio reflectante, sin embargo, estas medidas no conducen a buenos diseños de iluminación natural.

Los techos verdes o reflectantes reflejan la mayor parte del calor solar entrante y por lo tanto reducen la cantidad de ganancia de calor por conducción. Se ha demostrado que los techos reflectantes podrían dar ahorros sustanciales de energía. Por ejemplo, Akbari et al. [79] estudio 11 prototipos de edificios estadounidenses en áreas metropolitanas (es decir, residencial,

oficinas, tiendas, escuelas y hospitales), y estima que si todos los techos se cambiaran a la reflectividad óptima, la reducción de la demanda máxima sería equivalente a 13 plantas de energía de 0,5 GW de capacidad. Más recientemente, Boixo et al. [80] encontró que el uso de una técnica similar para los edificios residenciales en Andalucía, si se aplicara a toda España se podría ahorrar 295 MWh de electricidad al año. Del mismo modo, el enverdecido de tejados en los climas húmedos tropicales / subtropicales (como Canarias) tienen un buen rendimiento térmico debido a una mayor disipación de calor latente [81]. En el contexto de los ZEBs, sin embargo, estas medidas de eficiencia energética podrían no ser adecuadas debido al espacio limitado techo para instalar sistemas de energía renovables como la PV y aerogeneradores. Se debe llegar a un compromiso entre estos dos requisitos contradictorios.

4.2 Las condiciones internas

Las fuentes de calor internas y la temperatura máxima permitida de interior tienen significativa influencia sobre los requisitos de refrigeración [82]. Una revisión reciente de los trabajos sobre el impacto del cambio climático en la construcción y el uso de energía dan como resultado que las medidas que abordan las condiciones de diseño, de interiores y la densidad de carga de iluminación (LLD) podrían tener un gran ahorro de energía y un alto potencial de mitigación[83]. Estas medidas pueden aplicarse fácilmente a los edificios nuevos y a los ya existentes (rehabilitación) con una implicación menor en costes.

Condiciones de diseño de interior: Se ha demostrado que la subida y bajada de la configuración del termostato durante los calurosos meses de verano y en invierno puede reducir en gran medida los requisitos de refrigeración y calefacción. Por ejemplo, una encuesta de 1134 viviendas en Inglaterra encontró una amplia variación en la configuración del termostato que, en aras de la eficiencia energética y el desarrollo sostenible, podría constituir la base de un programa de "norma social" dirigida a reducir las temperaturas en los hogares "recalentados" [84].

Cargas térmicas internas: se ha estimado que una reducción en 1º C del sobrecalentamiento verano se puede lograr mediante la reducción de las cargas térmicas internas 10 W / m2 [85]. Esto ayuda a evitar la necesidad de refrigeración en edificios con ventilación natural y reducir las necesidades de energía de refrigeración en instalaciones con aire acondicionado. También se ha demostrado que LLD eléctrico (densidad de carga de iluminación) ejerce gran influencia en el rendimiento térmico y de energía de los edificios en diferentes climas, y es una variable clave de diseño en consideración a la eficiencia energética [86].

4.3 Sistemas de servicios de construcción

Entre las instalaciones de servicios, sistemas de climatización e iluminación eléctrica, tenemos a los dos principales elementos consumidores de energía en los edificios (especialmente en los edificios fríos y no residenciales) estas variables representan el 40-60% y 20-30% del consumo total de energía, respectivamente [87,88]. Las medidas principales de eficiencia energética HVAC son los sistemas de volumen de aire variable para el aire acondicionado [89], variadores de velocidad para ventiladores y bombas [90,91] y un alto COP (coeficiente de operación) para las plantas enfriadoras, con un control óptimo [92,93]. Para evaluar plenamente la eficacia de las medidas individuales y múltiples de eficiencia energética, es necesario tener en cuenta las interacciones dinámicas entre las diferentes variables de

diseño de la envolvente del edificio y los sistemas de servicios, así como las condiciones del interior y el clima exterior predominante [94].

- El aislamiento térmico tiene tres características a destacar. En primer lugar, el aislamiento, en general, tiende a ser más eficaz (en términos de costos y beneficios ambientales) para la calefacción de edificios en climas más fríos. Es menos eficaz en los edificios donde pretendemos enfriar y tenemos grandes cargas de calor interno en climas más cálidos.
- En segundo lugar, en teoría, más aislamiento significa menos ganancia / pérdida de calor por conducción, y por lo tanto una mayor eficiencia energética. En la práctica, esto no siempre es el caso. Cuando una envolvente del edificio está aislado de forma excesiva, la reducción de la pérdida de calor durante el modo de refrigeración tiende a aumentar el requisito de enfriamiento, y podría dar como resultado un aumento general en el uso de energía para el espacio acondicionado. El punto más allá del cual más aislamiento sería contraproducente se llama "punto de inflexión térmica" [53,54].
- En tercer lugar, espesor óptimo aislamiento puede determinarse en base a un simple análisis de costo económico [55,56], más completo es el análisis de las emisiones de energía de ciclo de vida y de CO_2 [57], los niveles óptimos de rentabilidad de los requisitos mínimos de eficiencia energética de edificios y elementos de construcción [58].

En la tabla 1 podemos ver varios resúmenes de trabajos recientes sobre las medidas de eficiencia energética aplicadas a los edificios.

Tabla 1 [161]

País / ciudad / clima	Referencia	Edificio	Medidas de conservación de energía / implicaciones de rendimiento energético
Australia, 8 zonas climáticas	[59]	Residencial	Aislamiento térmico, vidrio de baja emisividad y doble acristalamiento, electrodomésticos de alta eficiencia energética (especialmente para climas donde predomina el enfriamiento).
	[60]	Oficina	Aislamiento térmico (menos eficaz en climas fríos), menor WWR (Windows-Wall-Ratio) (relación entre el tamaño de la ventana-pared), vidrio reflectante, LLD inferior (densidad de carga de iluminación), especialmente eficaz en climas fríos.
China, arquitectura para las 5 grandes zonas climáticas	[61,62]	Oficina	Aislamiento térmico (eficaz en climas severos tanto fríos como calientes), acristalamiento doble y triple, menor WWR, aumento de los sistemas térmicos en verano (temperatura de referencia), menor LLD, mejorar el COP (coeficiente de rendimiento).
Hong Kong	[64,6]	Residencial	Aislamiento térmico, alta inercia térmica, ventanas con revestimiento reflectante, menor WWR, protección solar, la reducción de 19.9% en el enfriamiento en función de la carga y entre el 11-29% en el pico de la demanda de refrigeración.
Emiratos Árabes Unidos	[66]	Residencial	Aislamiento térmico, inercia térmica, doble acristalamiento, menor WWR, utilizando la iluminación natural, generamos una reducción del 28%
Estados Unidos, las 8 zonas climáticas	[67]	No Residencial (Oficina, hotel, escuela, etc.)	Aislamiento térmico, ventanas de baja emisividad, protección solar, iluminación natural.
Reino Unido	[68]	Residencial	Aislamiento térmico, cámaras de aire, vidrios dobles (mejor opción debido a mayor ahorro en la demanda energética por calefacción y menor incremento inducido en carga de refrigeración).
	[69,70]	Oficina	Aislamiento térmico, vidrio de baja emisividad, triple acristalamiento, iluminación LED, alta inercia térmica con alta ventilación y protección

			solar que ayuda a reducir el sobrecalentamiento de verano.
Berlín (frío), Barcelona (templada), Palermo (caliente)	[71]	General sin especificar el tipo de edificio	Pared tradicional con cámaras de aire, más aisladas (aire en la cavidad con recubrimiento adicional de corcho), fachada ventilada, ahorro energía medioambiental en condiciones climáticas extremas en Berlín y Palermo.
Suiza	[72]	Oficina	Protectores solares, ventilación nocturna, estrategias de diseño especiales para minimizar el sobrecalentamiento del verano y reducir la necesidad de refrigeración.
Burkina Faso (África subsahariana)	[73]	Oficina	Protector solar, una reducción de hasta 40% en la carga de refrigeración.

Capítulo 5 Las energías renovables y otras tecnologías

En este capítulo pretendemos explicar que incluso con la adopción de las mejores medidas de eficiencia energética disponibles, aún se requiere energía para alimentar el funcionamiento de un edificio en el día a día. Para los ZEBs, esto se logra a través del uso de las energías renovables y otras tecnologías. Las principales tecnologías [95-97] comúnmente adoptadas son:

- Fotovoltaica (PV) y Fotovoltaica integrada en el edificio (BIPV)
- Tecnologías eólicas
- Solar térmica (calentadores de agua solares)
- Bombas de calor (anexo VII de la Directiva 2009/28/CE)
- Centralización de la calefacción y refrigeración urbana

Las cuatro primeras son generalmente las aplicadas in situ.

5.1.1 Fotovoltaica (PV) y Fotovoltaica Integrada en el Edificio (BIPV)

Las placas fotovoltaicas son unas de las tecnologías de energía renovable más prometedoras en el logro del desarrollo sostenible [98,99]. Todos los estudios de caso ZEBs mostrados en la Tabla 1 adoptaron algunos tipos de tecnología fotovoltaica. En las zonas urbanas y suburbanas, los módulos PV se montan a menudo en los tejados de las casas, así como edificios no residenciales (por ejemplo, oficinas, hoteles, escuelas). Para maximizar el número de módulos fotovoltaicos instalado y por lo tanto la energía eléctrica generada, a veces se utilizan PV en la envolvente del edificio. Dicho sistema se denomina BIPV (fotovoltaica integrada en el edificio). Los paneles fotovoltaicos integrados en el edificio ayudan a aumentar la energía generada por unidad de área de suelo del edificio, por lo que hace que la energía solar sea más viable como alternativa y / o complemento a la red eléctrica. Esto, sin embargo, tiende a restringir la penetración de luz natural. Un trabajo reciente ha utilizado módulos fotovoltaicos semitransparentes de la envolvente de un edificio de oficinas en el clima subtropical de Hong Kong y se ha demostrado que la doble función de generación de electricidad y permitir el paso de la luz del día, en los espacios interiores, facilita diseños de iluminación natural [100]. Otro desarrollo reciente para aumentar la eficiencia energética de las PV es el sistema HPVT (fotovoltaica híbrida térmica). En general, una célula solar tiene una eficiencia de conversión de energía solar a eléctrica entre 9-18% (es decir, más de 80% de la radiación solar recibida no se convierte en electricidad, pero esa energía es o bien reflejada o disipada en forma de energía térmica). Esto provoca un aumento en la temperatura de trabajo de la célula solar y conduce a una eficiencia de conversión inferior. Un sistema de HPVT hace uso de módulos de refrigeración termoeléctricos para reducir la temperatura de la célula solar y se aprovecha del agua caliente producida por la generación de calor residual. Por lo tanto HPVT genera tanto energía eléctrica como térmica [98,101]. La potencia de salida y el sistema de eficiencia de un sistema fotovoltaico varía durante los diferentes momentos del día y diferentes estaciones del año con sujeción a las condiciones climáticas locales. La información sobre los patrones diarios y estacionales, permitiría a los arquitectos e ingenieros tener una mejor comprensión del funcionamiento del sistema fotovoltaico, para la realización del proceso de diseño y análisis. Estos datos se pueden determinar a través del monitoreo en línea y mediciones in situ de las instalaciones fotovoltaicas en funcionamiento [102,103]. La exploración de la electricidad fotovoltaica, generada en el lugar y la exportación de cualquier exceso de energía a la red local de servicios públicos son una estrategia importante para aumentar la cuota de las energías

renovables. Un reciente estudio sobre la integración a gran escala de los valores actuales en las ciudades se ha estimado que los sistemas fotovoltaicos pueden atender a 35% del consumo total de electricidad [104]. Sin embargo, la amplia difusión de la generación fotovoltaica puede causar, entre otras cosas, la inestabilidad y poner en peligro la calidad de la estructura de la red eléctrica existente. Se requiere más trabajo sobre "redes inteligentes".

5.1.2 Tecnologías eólicas

La generación de energía eólica se caracteriza por la naturaleza estocástica del viento. Fiable mediante métodos estadísticos, la previsión de energía eólica tiene un papel importante en el diseño y análisis de aerogeneradores, el cual es crucial para hacer frente a los desafíos de equilibrar la oferta y la demanda en cualquier sistema eléctrico[105]. En general, la disponibilidad de energía solar y eólica tiende a tener algunas características complementarias (es decir, cuando la disponibilidad solar es baja, la disponibilidad de viento tiende a ser alta, y viceversa), lo que sugiere que la energía solar y eólica pueden, en cierta medida, compensarse durante diferentes épocas del año. Esto ha llevado al desarrollo de sistemas de generación de energía fotovoltaica-eólica híbridos tanto a escala de servicios públicos, así como en pequeños sistemas de autónomos[106,107].

Se encontró que los sistemas híbridos tuvieron mayor rendimiento energético que la fotovoltaica o la eólica por separado. Para los ZEBs, si se adopta un sistema único o uno híbrido, el desafío sería estabilidad de la red. Aunque no es específico para aplicaciones ZEBs, Liu et al. [108] destacó la importancia de la estabilidad de la red en la integración de gran escala de la energía renovable fluctuante con la infraestructura eléctrica existente. Se requiere más trabajo en esta área.

5.1.3 Solar térmica

En el sector residencial, el uso de energía para el agua caliente sanitaria es una proporción significativa del consumo total de energía en el hogar. Un estudio reciente sobre la integración de una nueva variedad de calentadores de agua (incluyendo CSA) aplicado a un modelo de uso de la energía residencial de la ciudad de Osaka en Japón ha demostrado grandes ahorros de energía y un alto potencial reducción de las emisiones de CO_2 [109]. A través de los años, ha habido nuevos desarrollos, e innovaciones en la mejora de la eficiencia energética global de calentadores solares de agua, que se puede aplicar fácilmente a los ZEBs. Por ejemplo, el sistema de almacenamiento de agua caliente llevaba el colector integrado de bajo perfil, fue desarrollado para abordar la cuestión estética y arquitectónica [110]; y un SWH (calentador de agua solar) que usa una bomba de agua solar, en donde la bomba fue accionada por el vapor producido a partir de un colector de placa plana y el coste global fue comparable a un SWH convencional [111]. Otros avances recientes en CSA (calentadores de aguas solares) incluyen: termosifón SWH bifasico, la mejora en eficiencia de carga del sistema es 82%, que es superior a CSA convencionales [112]; un SWH usando “stationary V-trough collector” con resultados prometedores tanto para la eficiencia óptica del reflector como en el rendimiento térmico global del sistema [113]; y un sistema combinado solar que cumple al mismo tiempo las necesidades de calefacción y agua caliente sanitaria [114].

5.1.4 Bombas de calor

Las bombas de calor, ofrecen alternativas viables de recuperación de calor de diferentes fuentes de energía, para su uso en diversas aplicaciones. Los recientes avances en las tecnologías de bomba de calor, se centran en diseños de ciclos avanzados para sistemas de calor y rendimiento, la mejora de los componentes del ciclo y fluidos de trabajo, hace que aumente su utilización y aplicaciones [115]. El

coeficiente de rendimiento (COP, una medida de la eficiencia) de las bombas de calor es típicamente entre 3 y 5, las ASHPs (bombas de calor con fuente de aire) tienden a tener COP cerca del extremo inferior de la gama. Para mejorar el rendimiento de energía, las ASHPs pueden integrarse con colectores solares para que la energía pueda ser suministrada al evaporador, a una temperatura más alta que el aire exterior ambiental, con el aumento de la capacidad y mayor COP [116]. Durante los períodos de calentamiento / enfriamiento pico, las temperaturas ambientales imperantes pueden limitar la capacidad de un ASHP y hacer que funcione a una menor eficiencia.

5.1.4.1 Bombas de calor geotérmicas (GSHPs)

En los últimos años, ha habido una serie de estudios sobre el desarrollo de GSHPs (bombas de calor geotérmicas) para cubrir la carga máxima sin la necesidad de plantas suplementarias. Las ventajas incluyen menor costo operativo, por lo general sin unidad exterior, una mayor fiabilidad, vida útil de la unidad más larga, la conservación de energía y reducción de emisiones de CO_2 [117]. En general, se acordó que GSHPs puede lograr una mejor eficiencia operativa en climas donde la calefacción y requisitos de refrigeración están bien equilibrados durante todo el año [118]. La mayoría de los edificios, sin embargo, tienen cargas desequilibradas por los requisitos tanto de enfriamiento o como de calentamiento, especialmente en los climas más cálidos y más fríos. Podemos obtener más información en este aspecto referente a bombas de calor aerotérmica, geotérmica o hidrotérmica, en el anexo VII de la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En los edificios donde prevalece el enfriamiento en los climas más cálidos, se transferirá una gran cantidad de calor a la tierra a través de las sondas geotérmicas. Durante un cierto tiempo, el calor que se acumulará dará como resultado el incremento de la temperatura del suelo, y afectara a la eficiencia operativa. Este problema se puede resolver mediante el uso de sistemas híbridos con unidades suplementarias de calor tales como: torres de refrigeración para eliminar el calor acumulado [119]. Los GSHPs híbridos con calentamiento de agua ya a cierta temperatura pueden también ser atractivos para los edificios donde predomina el enfriamiento por las necesidades de agua caliente (por ejemplo, lavado y duchas). Asimismo, en la calefacción de edificios donde predominan climas más fríos, GSHPs puede provocar un agotamiento de calor térmico del suelo. Esto disminuirá progresivamente la temperatura del fluido de trabajo y por lo tanto reducir la eficiencia del sistema [120]. En el enfoque adoptado es común el uso de GSHPs híbridos con colectores solares, que recarga el suelo a través de la perforación evitando así el agotamiento de calor de la tierra. El diseño óptimo es cuando el calor solar produce agua caliente sanitaria durante el verano y se recarga el pozo durante los meses de invierno. El dimensionamiento correcto es encontrar un equilibrio entre el consumo de agua caliente de verano y los requisitos de recarga en invierno [121,122].

5.1.5 Centralización de la calefacción y refrigeración urbana

La centralización de la calefacción y refrigeración (DHC) es un sistema de distribución de calor y frío, generado desde una ubicación centralizada, cuyo objetivo es climatizar (y en algunos casos proporcionar ACS) a edificios residenciales, comerciales e industriales. Puede proporcionar eficiencia, beneficios de costos ambientales y de operación a las comunidades y a los consumidores de energía. La centralización de la calefacción y refrigeración ayuda a reemplazar los equipos menos eficientes en edificios individuales con un sistema de calefacción / refrigeración central más eficiente que se realiza en un espacio acondicionado. La centralización de la calefacción y refrigeración puede contribuir a reducir el cambio climático y otros problemas ambientales relacionados con la energía, tales como la contaminación del aire, el agotamiento del ozono y la lluvia ácida [123]. Un estudio realizado en

Japón encontró que la eficiencia energética para la refrigeración en los sistemas de DHC es superior a los sistemas de refrigeración individuales a causa del "efecto de concentración" y "grado de la operación" [123]. Estudios recientes de la calefacción urbana en Dinamarca y Noruega también han demostrado una reducción sustancial de la demanda de combustible, emisiones de CO_2 y del costo de operación, se puede lograr mediante la conversión a la calefacción urbana [134,125]. A pesar del costo de inversión inicial (por ejemplo, la infraestructura de red de distribución y posibles medidas de reconversión edificio como el cambio al sistema de calefacción hidráulico), es probable que sea la opción más razonable para el cumplimiento de las cargas de calefacción de los edificios. Además, el exceso de calor de los ZEBs (a través de colectores solares térmicos y / o bombas de calor) puede satisfacer parte de la demanda global de calentamiento dentro de la red y así beneficiar a los sistemas de calefacción urbana mediante la reducción de su consumo de combustible [97].

Capítulo 6 Consecuencias para el desarrollo sostenible y otros trabajos de investigación

A partir de los trabajos revisados hasta ahora, es razonable decir que en los ZEBs, las técnicas y las tecnologías de diseño asociadas están bien establecidas, y jugarán un papel importante en cualquier futura estrategia de desarrollo sostenible. Sin embargo, se cree que hay por lo menos tres áreas que necesitan mayor discusión y requieren un mayor coste de investigación y desarrollo: el ciclo de vida y el medio ambiente, el cambio climático, y las cuestiones de política social. Estos se resumen de la siguiente manera:

6.1 Coste del ciclo de vida y el medio ambiente

El concepto ZEBs plantea la pregunta de ¿qué escala y profundidad se deben tomar antes de considerar las tecnologías de energías renovables para satisfacer el requerimiento de las medidas de energía de eficiencia energética?[126]. Una estrategia es llevar a cabo un análisis de energía del ciclo de vida de los ZEBs incluyendo las energías renovables. Ha habido una serie de estudios que utilizan la técnica de la contabilidad energética de ciclo de vida para evaluar la eficiencia energética y las consecuencias de las emisiones de cualquier edificio [127,128] o las tecnologías renovables específicas [129,130]. Aun así se necesita más trabajo en los ZEBs. Un estudio reciente sobre un edificio residencial en Dinamarca ha indicado que, desde una perspectiva de costo-efectividad, la demanda de energía se debe reducir al mínimo a través de diseños energéticamente eficientes de construcción, dejando sólo una cantidad muy pequeña de requerimiento de energía para ser cubierta por la generación de energía renovable [126]. Un nuevo término "LC-ZEB" (ciclo de vida para un edificio de consumo casi nulo) también ha sido sugerido para enfatizar la importancia de examinar toda los ZEBs sobre una base del ciclo de vida, teniendo en cuenta tanto la energía incorporada en los materiales, como la de operación [131]. Quedan muchos retos por superar en el análisis del ciclo de vida. Por ejemplo, aunque GSHPs han demostrado su utilidad en la reducción de las emisiones de CO_2 en comparación con los sistemas de calefacción de gas eléctricos o naturales, se ha argumentado que la reducción es marginal cuando los impactos ambientales del ciclo de vida (por ejemplo, el agotamiento de recursos abióticos de los combustibles fósiles, el potencial agotamiento de la capa de ozono y el potencial de eco-toxicidad terrestre) se tienen en cuenta [132]. También se ha señalado que la mezcla de combustible para la generación de electricidad se va a cambiar en el futuro y que este quedara sujeto a las circunstancias económicas y políticas, así como la disponibilidad de recursos energéticos, por no hablar de la complejidad con respecto a las pérdidas de la red eléctrica en el cálculo del ahorro de energía y la reducción de CO_2 en los edificios [133,134]. Estos sin duda afectaran a la huella de carbono de las diferentes tecnologías de energías convencionales y renovables. Se requiere en este aspecto más trabajo.

6.2 El cambio climático

En referencia a este tema se conviene generalmente que nuestro clima está cambiando y que la temperatura se elevará gradualmente. Las revisiones recientes de los efectos del cambio climático en el sector energético en general [135] y el uso de energía en el entorno en particular [83] han puesto de manifiesto la vulnerabilidad de los sistemas de energía en edificios al cambio climático. Específicamente para los ZEBs, se ha encontrado que a pesar de las variaciones anuales en el consumo total de energía del edificio es relativamente pequeño, el impacto de los problemas de exceso y de almacenamiento de energía en relación al objetivo de los ZEBs es significativo.

Se debe tener en cuenta la simulación plurianual referente al cambio climático y que se debe utilizar en los ZEBs para realizar diseños y análisis [136] sensibles al clima. Esto está en contraste con la representación clásica del clima (por ejemplo TMY (año meteorológico típico) y TPCY (componentes principales del año típico)) por lo general estos métodos se adoptan para el análisis de simulación de energía del edificio por hora [147]. Esto lleva a la cuestión de la selección del modelo climático. Por ejemplo, Wan et al. [138] compararon el desempeño de los cinco modelos de circulación general en términos de DBT (temperatura de bulbo seco), WBT (temperatura de bulbo húmedo) y GSR (radiación solar global) en diferentes zonas climáticas.

La comparación de modelos se muestra en la Tabla 3.

Tabla 3 [161]

Ciudad	Modelo	DBT				WBT				GSR				Puntuación media[c]
		MBE[la]		RMSE[b]		MBE		RMSE		MBE		RMSE		
		°C	Rango	°C	Rango	°C	Rango	°C	Rango	MJ / m^2	Rango	MJ / m^2	Rango	
Harbin	BCCR-BCM2.0	-3.81	4	6.15	4	-3.21	5	5.25	4	1.38	4	3.98	4	4.2
	GISS-OMA	-1.59	2	3.49	2	0.16	1	2.61	2	0.70	1	3.32	2	1.7
	INM-CM3.0	-4.02	5	5.22	3	-2.77	4	4.10	3	1.05	3	3.83	3	3.5
	MIROC3.2-H	-0.35	1	2.67	1	0.29	2	2.35	1	3.65	5	5.69	5	2.5
	NCAR-CCSM3.0	-2.66	3	8.69	5	-1.65	3	7.27	5	1.03	2	2.90	1	3.2
Beijing	BCCR-BCM2.0	-6.89	4	7.54	3	-4.59	4	5.24	3	1.46	1	2.76	1	2.7
	GISS-OMA	-3.24	2	4.02	2	-2.44	2	3.33	2	2.01	4	3.09	3	2.5
	INM-CM3.0	-7.28	5	7.96	4	-5.58	5	6.15	4	1.87	2	2.90	2	3.7
	MIROC3.2-H	-2.69	1	3.47	1	-1.86	1	2.70	1	4.20	5	4.81	5	2.3
	NCAR-CCSM3.0	-5.62	3	8.40	5	-4.35	3	6.75	5	1.92	3	3.93	4	3.8
Shanghai	BCCR-BCM2.0	-0.91	1	1.93	1	-0.63	1	1.92	1	2.53	2	4.01	1	1.2
	GISS-OMA	3.28	5	4.76	4	2.70	5	4.07	3	4.01	3	4.80	3	3.8
	INM-CM3.0	-3.16	4	4.71	3	-2.51	4	4.10	4	4.57	4	5.37	4	3.8
	MIROC3.2-H	1.00	2	2.08	2	1.37	3	2.18	2	5.20	5	6.03	5	3.2
	NCAR-CCSM3.0	-1.79	3	5.13	5	-0.86	2	4.52	5	2.24	1	4.15	2	3.0
Kunming	BCCR-BCM2.0	-3.00	5	3.52	5	0.52	1	1.97	1	0.13	1	3.56	1	2.3
	GISS-OMA	-0.52	4	1.47	1	2.23	5	2.60	3	4.41	4	5.79	4	3.5
	INM-CM3.0	0.14	1	3.40	4	1.32	3	3.46	5	3.77	2	5.41	2	2.8
	MIROC3.2-H	-0.23	2	1.68	2	1.87	4	2.29	2	4.15	3	5.50	3	2.7
	NCAR-CCSM3.0	-0.23	2	3.34	3	-0.59	2	2.98	4	4.82	5	6.76	5	3.5
Hong Kong	BCCR-BCM2.0	-1.32	4	2.12	2	-0.36	2	1.85	2	2.53	1	4.50	1	2.0
	GISS-OMA	-0.60	2	2.61	3	-0.18	1	1.99	3	6.18	5	7.22	5	3.2
	INM-CM3.0	-2.92	5	3.64	5	-2.45	5	3.11	5	5.45	4	7.01	4	4.7
	MIROC3.2-H	0.06	1	1.77	1	0.69	3	1.75	1	5.08	3	6.37	3	2.0
	NCAR-CCSM3.0	-0.99	3	2.62	4	-0.84	4	2.62	4	3.55	2	4.59	2	3.2

[a] MBE $\sum_i^n = 1 \ (Pi - Mi)/n$ (Pi=predicción, Mi= datos de medición, n=252 para Hong Kong y n=348 para las otras cuatro ciudades).

[b] RMSE $\sum_i^n = 1 \ (Pi - Mi)^2/n^{1/2}$

[c] Medidas aritméticas

Se puede observar que el rendimiento de los cinco modelos pueden variar mucho en función de las diferentes zonas climáticas y para diferentes variables meteorológicas. Se requiere más trabajo en la selección de los modelos climáticos adecuados para la construcción de estudios de simulación de energía. Por otra parte, en los últimos años ha habido muchos estudios sobre la calefacción urbana, pero muy poco en refrigeración urbana. El calentamiento global conducirá a menos requisitos de calefacción, especialmente en climas más fríos, ocurrirá lo contrario en los climas más cálidos donde tendremos que aplicar aun con más énfasis los requisitos de refrigeración.

Por lo tanto, mayores esfuerzos deben dirigirse a una mejor comprensión de la relación coste-eficacia y medio ambiente, y la refrigeración en particular en el contexto de la planificación urbana. Además, la refrigeración con energía solar, aunque no está todavía ampliamente adoptada, tiene potencial de ahorro de energía y mitigación, especialmente en climas cálidos, porque la construcción de carga de refrigeración máxima y máxima intensidad solar tienden a ocurrir más o menos al mismo tiempo[83, 139, 140].

Capítulo 7 Climatología Canarias

El clima dominante en Canarias es subtropical seco y húmedo, pero debido a su posición en medio del Atlántico y a su relieve existen numerosos microclimas muy significativos. [141] Las Islas Canarias están, predominantemente, bajo el dominio de los vientos alisios procedentes del flanco oriental del anticiclón de las Azores. Estos vientos son muy constantes y tienen una velocidad regular, entre 20 y 22 km/h, y una componente que varía entre el este y el noreste. Estos vientos soplan de forma casi permanente. En verano tienen una frecuencia de hasta el 90%, mientras que en el invierno esta proporción se reduce al 50%. El rasgo más interesante de estos vientos es su estratificación en dos capas, una baja, fresca y húmeda (procedentes del norte y noreste, que actúan entre el nivel del mar y los 1.500 metros de altitud) [142] y otra alta, caliente y seca que sopla por encima de los 1.500 metros, y que son fruto de la circulación general del oeste [142].

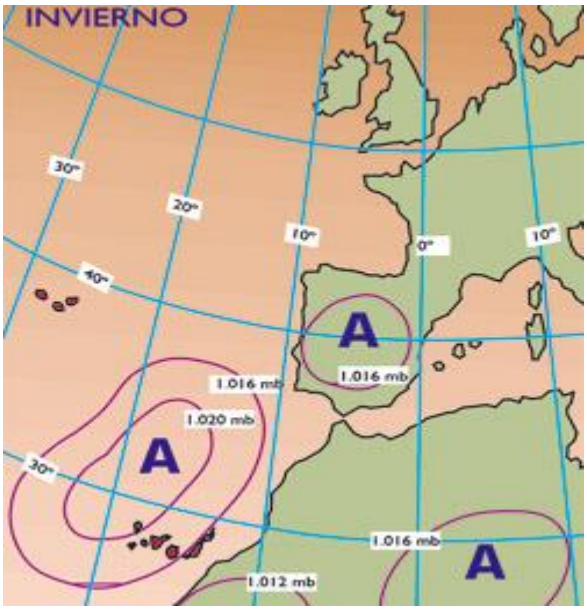


Fig.5. En invierno el anticiclón de las Azores se sitúa cerca del Archipiélago. Por tanto hay más calma y los vientos tienen menor recorrido para recoger la humedad que forman las nubes.

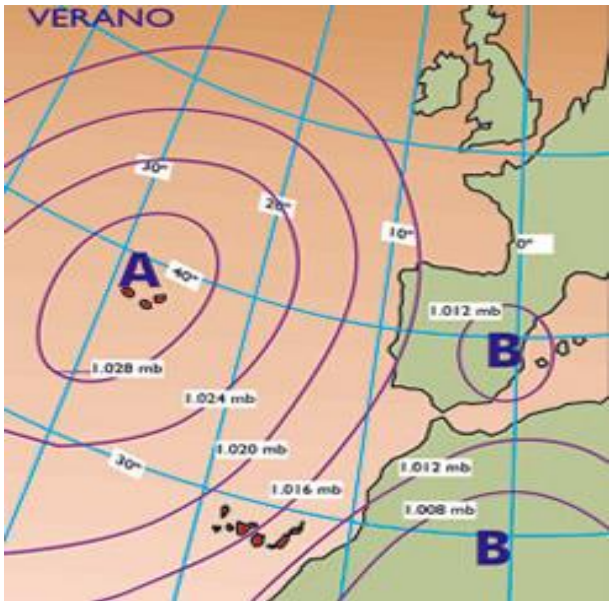


Fig.6. En verano, el anticiclón se sitúa más lejos de Canarias, en las Azores, esto facilita que los alisios en un recorrido más largo, recojan más humedad, propiciando el "mar de nubes".

7.1 Inversión térmica

Esta circunstancia genera una inversión térmica de límites variables y cuya consecuencia más llamativa es la aparición de un «mar de nubes» en las vertientes orientadas a los vientos dominantes. El mar de nubes crea un efecto invernadero que contribuye a la estabilidad térmica de las zonas bajas. Además, estas nubes impiden la llegada de grandes cantidades de rayos solares al mar, lo que contribuye a la estabilidad de la corriente fría de Canarias, una corriente marina que suaviza las temperaturas del archipiélago.

7.2 Corrientes marinas

El clima de Canarias está templado por la corriente marina fría de Canarias. Esta corriente marina procedente del norte es una bifurcación de la corriente del Golfo, que al encontrarse con las Azores se divide en dos ramales, uno cálido que va hacia el norte y otro frío que desciende hasta Canarias, tras pasar por la costa sur de Portugal y la occidental del norte de África. En Canarias los vientos alisios tienden a desplazar las aguas superficiales hacia el centro del Atlántico favoreciendo el ascenso de las aguas frías, que por lo general viajan más profundas. La presencia de la corriente fría atenúa la estratificación en dos capas de los alisios.

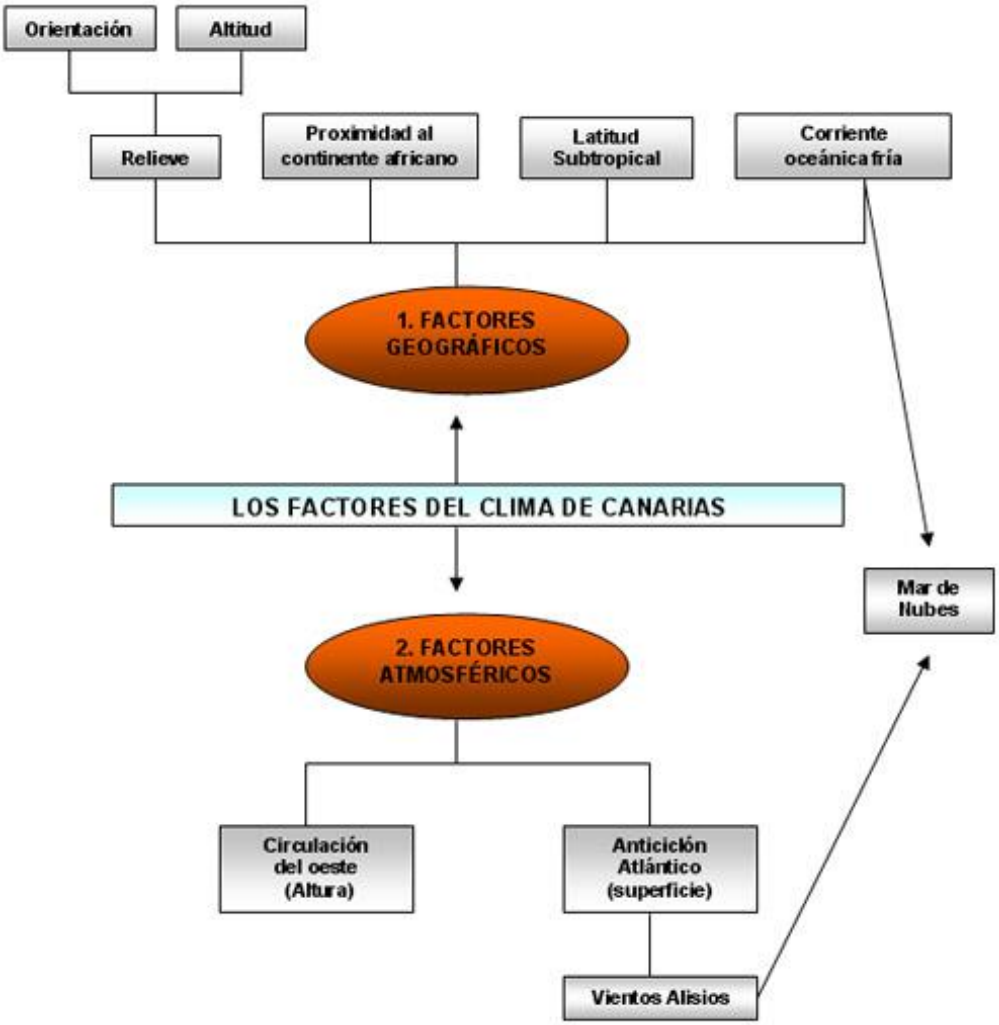


Fig. 7. Fuente: MARZOL JAEN, M.V. Gran Atlas Temático de Canarias, Interinsular Canaria, S/C de Tenerife, 2000

La combinación de los vientos, la corriente marina y los centros de acción hace que las temperaturas en Canarias sean notablemente estables y menos calurosas de lo que a su latitud le corresponderían. Las temperaturas más altas se alcanzan en agosto, aunque septiembre tiene prácticamente la misma media. Las temperaturas más frías se dan en enero, seguida muy de cerca de febrero. La oscilación térmica entre el mes más cálido y el más frío está por debajo de los 10ºC, entre los 17 ºC y los 25ºC; salvo en las cumbres montañosas que puede llegar a los 13ºC. La presencia de la corriente fría de Canarias hace que las olas de calor lleguen antes a las capas altas que a las bajas.

Capítulo 8 Propuesta de edificios de consumo casi nulo en Canarias

El enfriamiento es una de las problemáticas más difíciles que nos encontramos en el clima subtropical, debido a la fuerte radiación solar y la temperatura ambiental alta. El rango diario de la temperatura durante el verano, ofrece, sin embargo, un considerable potencial ahorro en enfriamiento [143].

Las suaves temperaturas y la radiación solar abundante durante el invierno, ayuda reducir las necesidades de calefacción para edificios, que pueden ser fácilmente contrarrestadas por medio de estrategias pasivas [144]. Sobre la base de las características de este clima, se pretende realizar un concepto para el diseño de un edificio de consumo casi nulo (una vivienda unifamiliar).

Con el apoyo de revisión de la literatura. Se deben realizar simulaciones de la energía consumida, que se deben utilizar para optimizar y corregir el proceso de diseño, para así dar lugar a un balance de energía óptimo y a unas condiciones de confort térmico favorables.

El concepto se basa en un control preciso de los sistemas y componentes de construcción. Por tanto, el sistema de control de automatización de edificios (BACS) se complementa con varios sensores que proporcionarán un seguimiento detallado de los flujos de energía y las condiciones de confort, útiles para la gestión de la construcción y sistemas, además de para mejorar aún más el concepto de diseño para construcciones futuras.

8.1 Estrategias pasivas adaptadas el clima de Canarias

El clima canario proporciona un alto potencial para explotar estrategias pasivas para el diseño de edificios [144]. El uso de la inercia térmica en el interior del edificio (sobre todo la losa de piso) se ha mostrado eficaz para reducir la demanda de calefacción, cuando se combina con paredes que poseen aislamiento térmico, ya que ayuda a proporcionar un almacenamiento útil y retraso de las ganancias de calor internas y solares a lo largo del día [145]. Esta estrategia demostró ser eficaz cuando la mayoría de aislamiento térmico está en la cara exterior de la pared [145]. La posición de la capa de aislamiento térmico en la cara al aire libre además sirvió para disminuir el riesgo de condensación. Incluso desde el punto de vista de la comodidad térmica, la masa térmica interna puede proporcionar una distribución de temperatura de la superficie homogénea y aceptable a lo largo del día [146].

Durante la temporada en la que necesitamos refrigeración, el uso de masa térmica en el interior del edificio puede resultar eficaz, si se combina con la ventilación cruzada durante la noche, para reducir las cargas de refrigeración y para mejorar el confort térmico [145]. La ventilación nocturna puede ser fácilmente explotada en el clima canario gracias a los vientos alisios, sobre todo si la vegetación está creciendo en los alrededores del edificio. Se requiere un control preciso de las ganancias solares. Para las ganancias de calor extremo, la orientación y el tamaño de las ventanas, son parámetros fundamentales para reducir las ganancias de calor, junto con la forma del edificio [145], los dispositivos de protección solar y el acristalamiento [147].

8.1.1 Usos de la inercia térmica en edificios de baja altura

Una manera eficaz de explotar la inercia térmica en edificios de baja altura, es colocar una losa del suelo, donde partes de esta estén en contacto térmico con el suelo. En este caso, la demanda de calefacción

puede aumentar lentamente, pero las cargas de refrigeración posiblemente disminuyan sustancialmente debido al acoplamiento con la gran inercia térmica del suelo. El enfriamiento que produce los vientos alisios por la noche también puede hacer uso de la interacción con la masa térmica y particularmente con el suelo que ha sido parcialmente expuesto a la radiación solar durante el día [145]. El efecto de enfriamiento por esta ventilación puede extenderse aún más durante el día si la masa térmica del suelo es usada por medio de un intercambiador de calor aire-tierra (EAHE) [143, 148]. Se requiere una gestión precisa del sistema de ventilación que puede ser mecánico o mixto. Esto solo puede ser garantizado por un sistema de control de automatización de edificios (BACS).

8.1.2 Mejoras para la temporada de enfriamiento

Durante la temporada de enfriamiento: la posición de la capa de aislamiento térmico es, muy importante, y el aislamiento externo proporciona un mejor rendimiento [145, 149].

Cuando la capa de aislamiento térmico se mueve a la cara externa de la pared, la transmitancia térmica periódica disminuye, y así lo hace el factor de decremento, mientras que la admitancia térmica aumenta. Dado que el flujo de calor debido a la diferencia de temperatura entre los aumentos interiores y exteriores aumenta el factor de decremento y hace que la admitancia térmica disminuya, si la capa de aislamiento térmico se mueve a la cara externa de la pared, el flujo de calor disminuye su valor.

Por tanto, el uso de aislamiento térmico en la cara externa de la pared se sugiere en el clima canario, sobre todo si se combina con materiales con un acabado altamente reflexivo, que reducen la absorción de la radiación solar en la pared.

Siguiendo el concepto descrito hasta ahora, y la adopción de una simulación detallada de la energía y el enfoque de optimización [150], es posible diseñar un edificio pasivo según el estándar Passivhaus, caracterizado también por un enfriamiento de muy baja demanda. Debido a la muy baja demanda total de energía a lo largo del año, y para la gran cantidad de radiación solar disponible, es posible llegar a un balance energético cero, en base anual, por medio de un razonable número de paneles en fotovoltaicos y de sistemas de energía solar térmica.

8.2 Descripción de la construcción del concepto de edificio de consumo casi nulo

Dado el planteamiento que hemos realizado sobre estrategias pasivas, tecnologías energéticas renovables y mecanismos de control y optimización. Podemos dar una posible descripción referente a la descripción de diseño de construcción del concepto de edificio de consumo casi nulo, para Canarias, que podría consistir en:

- Diseño planta en forma de U para aprovechar las sombras generadas debemos tener muy en cuenta la orientación y la geometría.
- Vegetación externa para reducir las ganancias de calor y enfriar el aire, materiales de pavimentación permeables.
- Protección solar y acristalamiento de alto rendimiento con el objetivo de reducir la trasmitancia térmica.
- Acabados de alta reflectancia pared externa y en el techo (‘cool roof and ‘cool walls’) para reducir las ganancias de calor.
- Alto aislamiento térmico en la cara externa de las paredes y el techo para utilizar la inercia térmica de los muros a favor.

- Mayor parte de la masa térmica que quede expuesta en el interior, en el suelo, y la cara interna de las paredes para reducir las zonas expuestas al sol y así aumentar la compacidad.
- Acoplamiento del edificio con el suelo: bajo aislamiento térmico del suelo y EAHE para así utilizar la inercia térmica del suelo a nuestro favor (vivienda semienterrada).
- Ventilación cruzada en los momentos adecuados para acentuar la refrigeración.
- Sistemas de control de automatización de edificios (BACS) para la optimización y supervisión de los sistemas.
- Paneles de energía solar térmica y fotovoltaica para las instalaciones de energía renovable y su posible vertido a la red.

8.3 Prototipo de vivienda unifamiliar Passivhaus

El edificio para el cual ya hemos dado claves para la descripción de su construcción de una única vivienda unifamiliar, puede seguir como vemos a continuación los requisitos de método de certificación de casa pasiva (Passivhaus) en términos de rendimiento térmico:

- Necesidad de energía para el espacio de calentamiento inferior a 15 kWh / (m^2año).
- Necesidad de energía para la refrigeración y deshumidificación inferior a 15 kWh / (m^2año).
- La energía primaria para todas las aplicaciones domésticas (refrigeración, calefacción, agua caliente y electricidad doméstica) inferior a 120 kWh / (m^2año) y estanqueidad (n_{50}) inferior a 0,6 ACH.
- Los sistemas de alto rendimiento se complementan con la producción local de energía renovable a través de módulos fotovoltaicos, un sistema de energía solar térmica y por un EAHE en el sistema de ventilación mecánica. Además se usará una capa de aislante (lana mineral) externa con un determinado espesor en función de las necesidades, ventanas de acristalamiento triples y gran cuidado en los detalles de construcción, para garantizar altos niveles de aislamiento y estanqueidad térmica.
- La masa térmica está dada principalmente por suelo y techo de losas de hormigón directamente en contacto con el aire interior, y por muros de mampostería con aislamiento externo.
- Ventilación cruzada natural que se ve reforzada por la disposición de las ventanas, especialmente para la refrigeración nocturna.
- El EAHE proporciona pre-calentamiento o enfriamiento previo para el aire suministrado por el sistema de ventilación. La temperatura de suministro de aire se puede ajustarse adicionalmente por medio de una unidad de recuperación de calor, con bypass automático cuando las temperaturas lo permiten, y por una bobina de calentamiento / enfriamiento antes de entrar en el interior.
- El sistema térmico solar estaría integrado con un generador de bomba de calor. Este complejo sistema se regularía automáticamente por un sistema de control de automatización de edificios (BACS) con el apoyo de protocolo Konnex (KNX).
- El diámetro de los conductos, y la disposición lineal de las curvas se deben optimizar con el objetivo de reducir las pérdidas de presión y minimizar el consumo de energía ventilación.

- Las características geométricas de los tubos con pendiente horizontal (2,5%), se deben diseñar para permitir las operaciones de limpieza sencilla eficaces y drenaje de condensación adecuado.
- Se debe realizar una simulación energética del edificio utilizando por ejemplo la herramienta de simulación de rendimiento edificio EnergyPlus [151]. La ventilación voluntaria y la infiltración de aire involuntario se puede calcular con AirflowNetwork.

Siguiendo los principios de diseño integrado [152], se deben aplicar un gran número de estrategias y conceptos pasivos, analizarlos y simularlos durante la fase de diseño conceptual. Para así tener claro la selección de las mejores características de los elementos de construcción prestando especial importancia a los revestimientos tales como el techo, paredes exteriores, piso, unidades de acristalamiento en las varias orientaciones, y las estrategias y / o puntos de ajuste para el control de los dispositivos de protección solar, es fundamental la apertura nocturna de ventanas para fomentar de forma natural la ventilación. Esto puede ser impulsado por un algoritmo de optimización través de por ejemplo GenOpt (motor de optimización) [153, 154], lo cual puede resultar muy útil cuando el sistema de calefacción mecánica y sistema de refrigeración (una bomba de calor reversible) se incluye en el modelo del edificio (además del EAHE), y los requisitos sobre confort térmico en espacios interiores se han fijado en referencia al modelo de confort Fanger [155] tal como se aplica en las normas ISO Internacionale 7730 [156]. Las temperaturas de confort óptimas de temporada se calculan suponiendo una actividad metabólica de 1,2 met, 0,5 clo para ropa de verano y 1clo para la ropa de invierno.

8.4 Aplicación del Documento Básico HE1 Ahorro de Energía

El Documento Básico HE Ahorro de Energía tiene por objeto establecer reglas y procedimientos que permiten cumplir las exigencias básicas de ahorro de energía.

Tanto el objetivo del requisito básico "Ahorro de energía", como las exigencias básicas, se establecen en el artículo 15 de la Parte I del CTE y se presentan a continuación:

1. Conseguir un uso racional de la energía necesaria para la utilización de los edificios, reduciendo a límites sostenibles su consumo y conseguir asimismo que una parte de este consumo proceda de fuentes de energía renovable.

2. Para ello, los edificios se proyectarán, construirán, utilizarán y mantendrán de forma que se cumplan las exigencias básicas que se establecen en este Documento Básico.

3. El Documento Básico “DB HE Ahorro de energía” especifica parámetros objetivos y procedimientos cuyo cumplimiento asegura la satisfacción de las exigencias básicas y la superación de los niveles mínimos de calidad propios del requisito básico de ahorro de energía.

Además, el artículo 15.1 hace una referencia a la envolvente y a los procedimientos de verificación:

Los edificios dispondrán de una envolvente que limite la demanda energética necesaria para alcanzar el bienestar térmico en función de diversos factores como el clima de la localidad, el uso del edificio, sus características de aislamiento e inercia, permeabilidad al aire y exposición a la radiación solar, etc.

8.4.1 Clasificación de los espacios

El apartado 3.1.2 del DB-HE1 clasifica los espacios existentes en un edificio de la siguiente manera:

Los espacios interiores de los edificios se clasifican en espacios habitables y espacios no habitables. Según terminología del DB-HE1:

Espacio habitable: Espacio formado por uno o varios recintos habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de demanda energética.

Recinto habitable: Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas. Se consideran recintos habitables los siguientes:

- Habitaciones y estancias (dormitorios, comedores, bibliotecas, salones, etc.) en edificios residenciales.
- Aulas, bibliotecas, despachos, en edificios de uso docente;
- Quirófanos, habitaciones, salas de espera, en edificios de uso sanitario;
- Oficinas, despachos; salas de reunión, en edificios de uso administrativo;
- Cocinas, baños, aseos, pasillos y distribuidores, en edificios de cualquier uso;
- Zonas comunes de circulación en el interior de los edificios;
- Cualquier otro con un uso asimilable a los anteriores.

Espacio no habitable: Espacio formado por uno o varios recintos no habitables contiguos con el mismo uso y condiciones térmicas equivalentes agrupados a efectos de cálculo de demanda energética.

Recinto no habitable: Recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. Serían, por ejemplo, los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

A efectos de cálculo de la demanda energética, los espacios habitables se clasifican en función de la cantidad de calor disipada en su interior, debido a la actividad realizada y al periodo de utilización de cada espacio, en las siguientes categorías:

- Espacios con carga interna baja: espacios en los que se disipa poco calor. Son los espacios destinados principalmente a residir en ellos.
- Espacios con carga interna alta: espacios en los que se genera gran cantidad de calor por causa de su ocupación, iluminación o equipos existentes. Son aquellos espacios no incluidos en la definición anterior.

A efectos de comprobación de la limitación de condensaciones en los cerramientos, los espacios habitables se caracterizan por el exceso de humedad interior. Existen diversas categorías:

- Espacios de clase de higrometría 5: espacios en los que se prevea una gran producción de humedad, tales como lavanderías y piscinas.

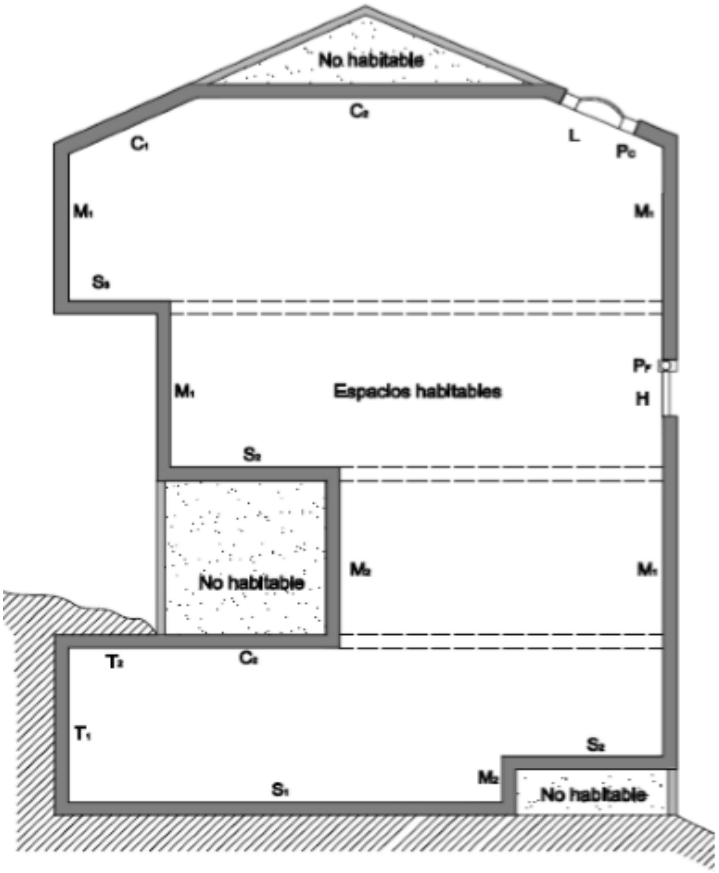
8.4.2 Método de cálculo

Esta opción busca conseguir los siguientes objetivos:

- Limitar la demanda energética de la vivienda.
- Limitar la presencia de condensaciones en la superficie y el interior de los cerramientos.
- Limitar las infiltraciones de aire en huecos y lucernarios.
- Para aplicar la opción simplificada, se deben cumplir las condiciones siguientes:
- Superficie de huecos en cada fachada menor al 60%.
- Superficie que ocupan lucernarios en cubierta menor al 5%.
- Se aplicará esta opción a los cerramientos nuevos para los casos de rehabilitación.

El DB-HE1 define la envolvente térmica de un edificio como el conjunto de todos los cerramientos que limitan:

- Los espacios habitables del exterior y los espacios habitables de los no habitables.



Así lo muestra la siguiente figura 8:

Cubiertas

C1: en contacto con el aire

C2: en contacto con un espacio no habitable Pc: puente térmico (contorno de lucernario>0,5 m2)

L: lucernario

Fachadas

M1: muro en contacto con el aire

M2: muro en contacto con espacios no habitables

PF1: puente térmico (contorno de huecos>0,5 m2)

PF2: puente térmico (pilares en fachada>0,5 m2)

Fig. 8 Clasificación de espacios y superficies

PF3: puente térmico (cajas de persiana>0,5 m2)

H: huecos

Suelos

S1: apoyados sobre el terreno

S2: en contacto con espacios no habitables

S3: en contacto con el aire exterior

Cerramientos en contacto con el terreno

T1: muros en contacto con el terreno

T2: cubiertas enterradas T3: suelos a una profundidad mayor de 0,5 m

Una vez obtenida la zona climática como podemos ver en la figura 9, la normativa aporta una tabla donde expone los valores límite de transmitancia térmica medias para los cerramientos y las particiones interiores.

Zonas climáticas Canarias						
Capital	Z.C.	Altitud	α3	A2	B2	C2
Palmas de Gran Canaria, Las	α3	114	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000
Santa Cruz de Tenerife	α3	0	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000

Fig. 9 Zonas climáticas Canarias

Parámetros característicos de la envolvente

ZONA CLIMÁTICA α3, A3

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno U Mlim: 0,94 W/m^{2}K

Transmitancia límite de suelos USlim: 0,53 W/m 2 K

Transmitancia límite de cubiertas U Clim: 0,50 W/m 2 K

Factor solar modificado límite de lucernarios F Llim: 0,29

Transmitancia

Según la DB HE 1, la inercia térmica es la capacidad que tiene la masa de conservar la energía térmica recibida e ir liberándola progresivamente. Los edificios de gran inercia térmica tienen variaciones térmicas más estables ya que el calor acumulado durante el día se libera en el periodo nocturno, esto quiere decir que a mayor inercia térmica mayor estabilidad térmica. La función de los cerramientos es aislar los espacios internos del ambiente exterior, por tanto, han de tardar en reaccionar a los cambios de

temperatura, es decir, han de tener una gran inercia térmica. Así funcionan como acumuladores de la energía térmica.

Para calcular la transmitancia del cerramiento es necesario conocer los materiales que lo componen y algunas características determinadas como su espesor, la transmitancia de cada uno de ellos y su conductividad, estas últimas las encontraremos en el Catálogo del CTE.

Con todo ello se genera una tabla en la que se obtiene una conductividad total del cerramiento y mediante la fórmula que aparece en el apéndice E del DB-HE1 se obtendrá su transmitancia térmica total que será comparada con la máxima permitida en la zona climática α3.

Por ejemplo para un Muro de bloque de hormigón de 20 cm de espesor (λ=0,46)

Enfoscado de mortero de cemento (e=1,5 cm) + BHV (e=20 cm) + enfoscado hidrofugado (e=1,5 cm) +barrera contra el vapor (emulsión) + aislamiento térmico EPS tipo III (e=3 cm) + pladur (e=1,5 cm) como el que podemos ver en la figura 10

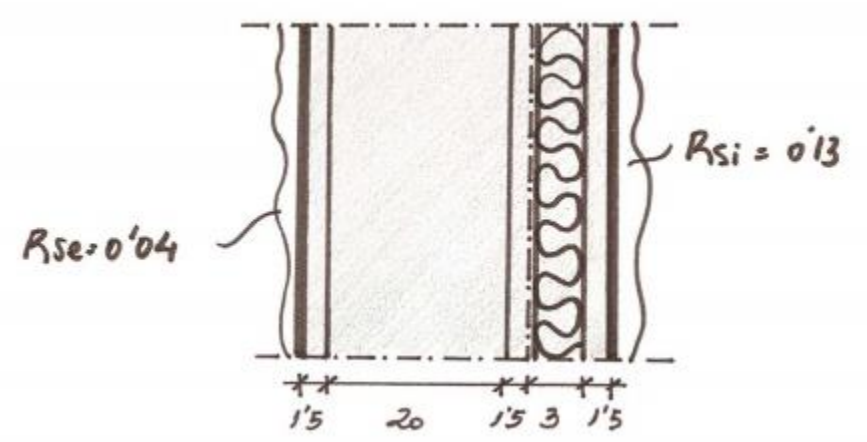


Fig. 10 Capas y espesores muro hormigón

8.4.3 Cálculo de la transmitancia (U)

Se suele aplicar en: muros de fachada, cubiertas, suelos en contacto con el aire exterior y puentes térmicos integrados en los cerramientos anteriores cuya superficie sea mayor a 0.50 m^2

Y se calcula de la siguiente manera:

U (W/m^2K) = 1 / RT

RT (m^2K/W) = Rsi + R1 + R2 + … + Rn + Rse

(RT: resistencia térmica total de un cerramiento)

Rsi y Rse se obtienen de la tabla E.1;

Rsi= 0,13 m^2K/W

Rse= 0,04 m^2K/W

R1, R2, Rn se calculan de la siguiente manera:

R1= e1/λ1

e1: espesor (en metros) de la capa 1

λ1: conductividad térmica del material (en W/mK)

R1(R de pladur)= 0,015m / 0,18W/mK= 0,083m^2K/W

R2(R de aislamiento térmico)= 0,03m / 0,038W/mK= 0,79m^2K/W

R3(R de enfoscado)= 0,015m / 1,40W/mK= 0,01m^2K/W

R4(R de BHV de 20)= 0,20m / 0,46W/mK= 0,43m^2K/W

R5(R de enfoscado)= 0,015m / 1,40W/mK= 0,01m^2K/W

RT(m^2K/W) = Rsi + R1 + R2 + … + Rn + Rse = 0,13 m^2K/W + (0,015 / 0,18) + (0,03 / 0,038)+(0,015/1,40) + (0,20 / 0,46) + (0,015/1,40) + 0,04 m^2K/W = 1,49 m^2K/W

U (W/m^2K) =1 / RT= 1 / 1,49m^2K/W= 0,67 W/m^2K

- Para zona climática A3 (Las Palmas de Canaria), la transmitancia límite de muros de fachada (UMlím) = 0,94 W/m^2K

- Para zona climática B3 (Palma de Mallorca), la transmitancia límite de muros de fachada (UMlím) = 0,82 W/m^2K

- Para zona climática C1 (Pontevedra), la transmitancia límite de muros de fachada (UMlím) = 0,73 W/m^2K

- Para zona climática D1 (Pamplona), la transmitancia límite de muros de fachada (UMlím) = 0,66 W/m^2K

0,67 W/m^2K < 0,94; CUMPLE para zona climática A3

0,67 W/m^2K < 0,82; CUMPLE para zona climática B3

0,67 W/m^2K < 0,73; CUMPLE para zona climática C1

0,67 W/m^2K > 0,66; NO CUMPLE para zona climática D1

8.4.4 Comprobación de la condensación superficial

Se debe comprobar en: muros de fachada, muros medianeros, cubiertas, puentes térmicos integrados en fachada cuya superficie sea mayor a 0,50 m² (son puentes térmicos integrados los pilares en fachada, los contornos de huecos, las cajas de persianas y similares) y suelos en contacto con el aire.

Según el método que indica la CTE, tenemos que comprobar que fRsi (factor de temperatura superficial interior sea mayor que fRsi, mín (factor de temperatura de la superficie interior mínimo):

FRsi, mín se obtiene de la Tabla 3.2 del DB HE 1 ahorro de energía.

Para zona climática A3 y espacios de higrometría 3 o inferior, fRsi, mín= 0,50

Para zona climática B3 y espacios de higrometría 3 o inferior, fRsi, mín= 0,52

Para zona climática C1 y espacios de higrometría 3 o inferior, fRsi, mín= 0,56

Para zona climática D1 y espacios de higrometría 3 o inferior, fRsi, mín= 0,61

fRsi= 1-(U∗0,25)

U = 0,67 W/m²K

fRsi= 1-(0,67 W/m²K∗0,25) = 0,83 W/m²K

0,83 W/m²K > 0,50 W/m²K; NO CONDENSA en zona A3

0,83 W/m²K > 0,52 W/m²K; NO CONDENSA en zona B3

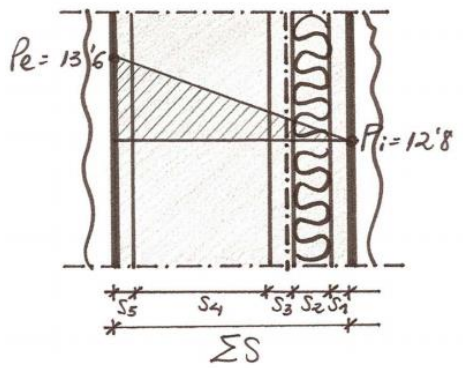
0,83 W/m²K > 0,56 W/m²K; NO CONDENSA en zona C1

0,83 W/m²K > 0,61 W/m²K; NO CONDENSA en zona D1

8.4.5 Comprobación de condensaciones intersticiales

Se deberá comprobar en los muros de fachada, muros medianeros, cubiertas, puentes térmicos integrados en fachada cuya superficie sea mayor a 0,50 m² (son puentes térmicos integrados en los pilares en fachada, los contornos de huecos, las cajas de persianas y similares) y suelos en contacto con el aire.

Realizaremos el cálculo por semejanza de triángulos donde deberemos comprobar que el porcentaje de humedad relativa en un punto intermedio de un cerramiento es inferior al 100% (no condensa). Podemos ver una figura que representa el cálculo por semejanza de triángulos en la figura 11.



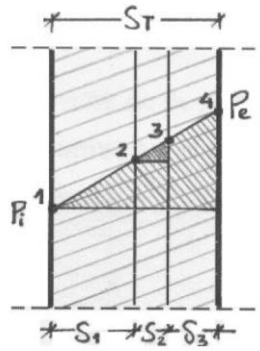


Fig.11 Calculo por semejanza de triángulos Fig.12 Cálculo de la resistencia a la difusión del vapor de agua

Cálculo de Pe y Pi (mediante ábaco psicrométrico):

(Se recomienda el cálculo de las presiones de vapor mediante el ábaco psicrométrico, teniendo en cuenta que en el ábaco las presiones se dan en mbar y tenemos que pasarlas a Pa.)

Pe: presión de vapor del aire exterior, en Pa (pascales)

Pi: presión de vapor del aire interior, en Pa (pascales)

(1 mbar = 100 Pa)

En el CTE obtenemos los siguientes datos del municipio, que si se trata de Las Palmas de Gran Canaria y de espacios de higrometría 3 o inferior, son:

Zona climática A3

Temperatura exterior (θe)= 17,9ºC

Temperatura interior (θi)= 20ºC

Humedad relativa exterior (ϕe)= 66%

Humedad relativa interior (ϕi)= 55%

Pe= 13,6 mbar = 1360 Pa

Calculamos Pi en Las Palmas de Gran Canaria entrando en el ábaco psicrométrico con los valores ya conocidos de θi= 20ºC y ϕi= 55%

Pi= 12,8 mbar = 1280 Pa

Cálculo de la resistencia a la difusión del vapor de agua (S):

La resistencia a la difusión del vapor de agua en cada capa de un cerramiento depende de la resistividad del material que conforma dicha capa y del espesor de ésta, de forma que la resistencia de cada capa es el resultado de multiplicar la resistividad por su espesor en metros ($S1 = e1 * \mu 1$). Como podemos ver en la figura 12 se hace referencia a esas secciones S1, S2, S3 las cuales estamos aquí tratando.

$S1 = e1 * \mu 1$

$\sum S = ST = S1 + S2 + S3$

Podemos encontrar valores de factores de resistencia a la difusión del vapor de agua (μ) en el libro VIVIENDA-DAV-HE

S1(S de panel de pladur)= 0,015 m∗4= 0,06m

S2(S de aislamiento térmico EPS tipo III)= 0,03 m∗20= 0,60m

S3(S de enfoscado)= 0,015m∗10= 0,15m

S4(S de BHV20)= 0,20m∗6= 1,20m

S3(S de enfoscado)= 0,015m∗10= 0,15m

∑S=ST=S1+S2+S3+S4+S5= 0,06m + 0,6m + 0,15m + 1,20m + 0,15m = 2,16m

Cálculo de la Presión de vapor (P) en cualquier punto del cerramiento (punto A):

$\frac{Pe-Pi}{\sum S} = \frac{PA-Pi}{S1+S2}$ (de esta fórmula despejamos PA)

PA= Pi + ((Pe-Pi / ∑S)∗(S1+S2+S3)= 12,8mbar + ((13,6mbar-12,8mbar / 2,166m) ∗ (0,06m + 0,60m + 0,15m) = 13.09 mbar

Cálculo de la Temperatura (θ) en cualquier punto del cerramiento (punto A):

$\frac{\theta i - \theta e}{RT} = \frac{\theta i - \theta A}{RSi+R1+R2}$ (de esta fórmula despejamos θA)

θA= θi - ((θi-θe) / RT)∗(Rsi+R1+R2+R3))= 20ºC - ((20ºC – 17,9ºC) / 1,49 m²K/W)∗(0,13 m²K/W + 0,083 m²K/W + 0,79 m²K/W + 0,010 m²K/W)) = 18,5ºC

Con los valores obtenidos de θA (18,5ºC) y PA(13,09mbar) vamos a un ábaco psicrométrico y obtenemos el % de humedad relativa en el punto A = 61%. Si este valor es inferior a 100%, significa que no condensa;

61%<100%, por tanto **NO CONDENSA**.

8.5 Diseño según las condiciones climatologías de Canarias

En este apartado estableceremos el limite inferior y superior de la zona de confort los cuales podremos establecer segun las figuras 13 y 14 para un diseño de vivienda según las condiciones climatologias de Canarias, ademas de hablar sobre la importancia de las velocidad del viento y su relacion con el confort, hablaremos sobre la importancia de una optima orientacion y de la radiacion solar.

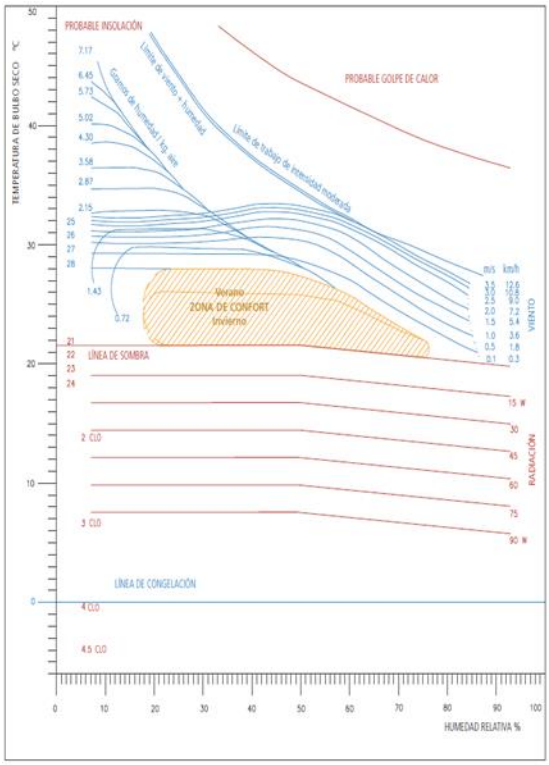
8.5.1 Límite inferior de la zona de confort

El límite inferior de la zona de confort, 21,5 ºC, establece una separación por encima de la cual es necesaria la utilización de la protección solar y por debajo de la cual se necesita radiación. A partir de este límite y hacia arriba la zona de bienestar asciende con el movimiento del aire y desciende por radiación solar.

8.5.2 Límite superior de la zona de confort

El límite superior de la zona de confort, se ha fijado en 28°C con humedades relativas medias de hasta un 50%, disminuyendo gradualmente cuando la humedad aumenta [157].

Las temperaturas límite del rango de confort se calculan de acuerdo con la categoría II de la norma europea EN 15251 [160], de adecuado con los nuevos edificios.



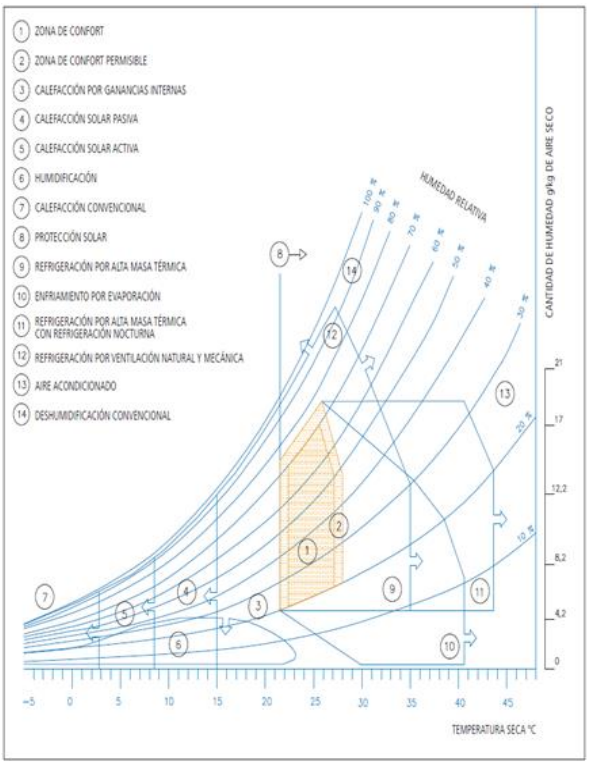


Fig. 13. Carta bioclimática de Olgyay (28º latitud Norte)

Fig. 14. Carta bioclimática de Givoni (28º latitud norte)

Las gráficas de las figuras 12 y 13 están adaptadas a las condiciones Canarias, y son válidas en regiones templadas (latitud 28°, altitud media 300 m), en condiciones de exterior [157].

8.5.3 Influencia de la velocidad del viento en el confort

La velocidad del viento (siempre dentro de los valores que no producen molestias) influye también en la reducción de la sensación de calor. Con una humedad constante, para reducir la sensación de calor en 1 °C es necesario un aumento en la velocidad del viento de 0,5 m/s (1,8 km/h) si las temperaturas están entre los 25 °C y los 30 °C y de 1 m/s (3,6 km/h) si están entre los 30 °C y los 35 °C. [157].

8.5.4 Cartas de radiación solar

Las necesidades de radiación varían según las condiciones de cada lugar y edificio. Por medio de las cartas de radiación solar como podemos ver en la figura 15, es posible determinar la cantidad de la misma que incide en una determinada superficie según día, hora, latitud, orientación e inclinación del plano incidido

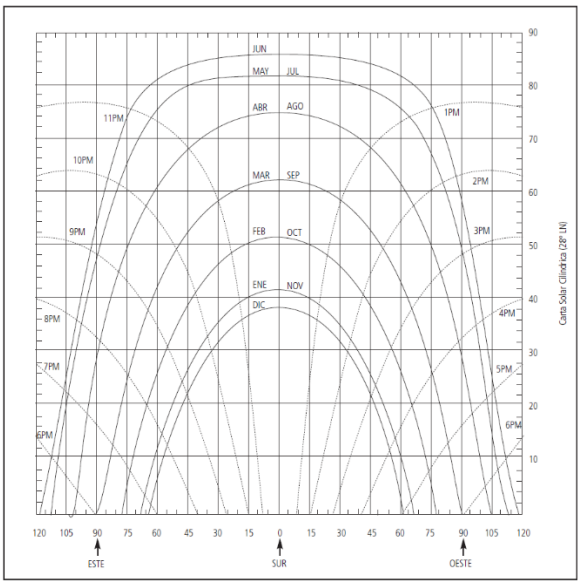
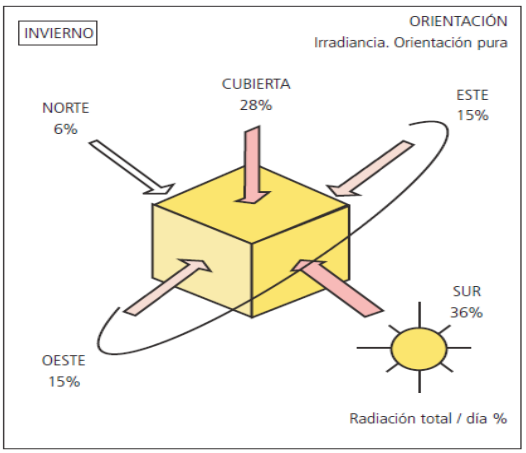


Fig.15. Carta Solar Cilíndrica (28º LN)

En la cuantificación real del balance energético en una edificación, entran en juego los factores de acumulación y redistribución de calor, en los cuales la influencia de los materiales y de la forma de la edificación son determinantes, por lo que sólo puede hacerse con cierta exactitud a posteriori y mediante sistemas de simulación por ordenador. [157]

Como se muestra en la figura 16, la intensidad de la radiación varía según la época del año al variar el ángulo de inclinación del Sol.



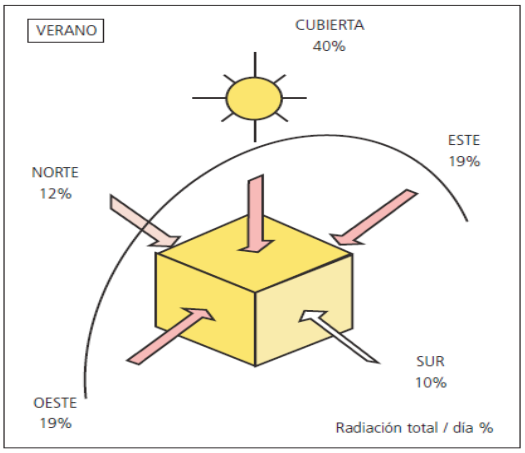


Fig. 16 Tanto por ciento de radiación total/día teórica incidente por orientaciones para 28º de LN

8.5.5 Orientación óptima para Canarias

En las condiciones para Canarias, la mejor orientación es la sur, no sólo por la mejor capacidad de captación de radiación en invierno (cuando así se requiera), sino porque es más sencillo evitar los sobrecalentamientos de verano que en otras orientaciones (Este y Oeste).

8.6 Necesidades de captación o protección solar

Del análisis del comportamiento solar según las diferentes orientaciones en Canarias, se pueden extraer las siguientes conclusiones: según las necesidades de cada lugar primara la captación o la protección solar.

8.6.1 Captación solar

Dado que la media de temperatura tiene sus valores más bajos en Canarias (meses más fríos) en enero y febrero, conviene trabajar con los valores de las cartas solares relativos a estos meses, que son ligeramente más desfavorables que los de diciembre.

Para un adecuado aprovechamiento de la energía de radiación, como se ha explicado en varios estudios referentes a la radiación incidente, la cantidad de tiempo necesaria para la captación oscila entre las tres y las cinco horas, escogiendo en este estudio un óptimo de cuatro horas.

La mejor orientación de las edificaciones, en cuanto a la correcta respuesta a estos dos condicionantes de captación, es la sur, situando los edificios en calles de dirección este-oeste.

Las orientaciones sureste y sudoeste representan ligeras desventajas con respecto a las orientaciones sur, en cuanto a la necesidad de anchura de calle. Para la peor hora (inicial o final del recorrido, según la orientación) se necesitaría en enero una anchura de en torno a dos veces la altura de la obstrucción.

Las orientaciones este y oeste presentan fenómenos parecidos en cuanto a la relación altura de la obstrucción anchura de la calle.

En orientaciones este y oeste surgen además problemas añadidos, debidos a una disminución de las horas de radiación y a la menor intensidad de la misma, al concentrarse en las horas de mañana (orientación este) o de tarde (orientación oeste) y no repartirse en las horas centrales del día solar.

En este tipo de orientaciones pueden existir factores adicionales de complejidad, por ejemplo, las molestias que puede causar visualmente el sol por deslumbramiento en orientaciones a oeste en invierno.

Modos de aprovechamiento solar

Se distinguen tres sistemas, en estos modos de aprovechamiento solar, según sea la relación entre el sol y la estancia a calefactar. [157)

Estos sistemas pueden ser directos, indirectos e independientes (157):

- Sistemas directos son aquellos en los que la estancia se calienta por la acción directa de los rayos solares.
- Se llaman sistemas indirectos cuando la radiación solar incide primero en una masa térmica que está situada entre el sol y el ambiente a calentar.
- Se denominan independientes aquellos sistemas en los que la captación solar y el almacenamiento térmico están separados del espacio habitable.

En los procedimientos de aprovechamiento pasivo del calor solar intervienen tres tipos de elementos:

- Los elementos de captación, encargados de recoger la radiación solar.
- Los elementos de acumulación, encargados de la acumulación del calor captado.

- Los elementos de distribución, que se encargarán de repartir y de regular el calor acumulado de un modo adecuado en los diversos lugares y en los momentos en los que resulta necesario.

8.6.2 Protección solar

Urbanísticamente es incompatible la relación del ancho de las calles y la altura de la edificación para solucionar tanto la necesidad de captación (en los meses fríos) como la necesidad de protección (en los meses cálidos). No existe una relación adecuada en ninguna orientación que asegure una eficaz solución de ambas necesidades.

Como habitualmente es más difícil eliminar obstáculos que crearlos (especialmente cuando éstos son edificios o accidentes geográficos) y la radiación solar se puede detener pero nunca generar artificialmente, siempre primará la necesidad de conseguir suficiente captación. En estos casos, las protecciones solares se habrán de resolver mediante elementos arquitectónicos del propio edificio, que impidan la entrada de radiación en verano pero la posibiliten en invierno.

En el manual para el diseño bioclimático de canarias se encuentran las Cartas Bioclimáticas más significativas de Olgyay y Givoni de una serie de lugares representativos del clima de cada isla. (157)

Capítulo 9 Climatología Las Palmas de Gran Canaria y soluciones

De acuerdo con estos supuestos para la zona de Las Palmas de Gran Canaria donde el invierno es muy benigno con temperaturas medias mínimas superiores a los 15,8°C y medias máximas superiores a los 20,6°C en los meses más fríos (enero y febrero), que consiguen que durante el día la radiación solar sea suficiente para estar en condiciones de confort.

Durante los meses de marzo, abril y diciembre, los cambios son aún más suaves, ocurre algo similar, con temperaturas medias mínimas por encima de los 16,2°C y temperaturas medias máximas alrededor de 21,4°C. Estas últimas requieren igualmente estar a la sombra a medio día para estar en condiciones de confort.

En los meses de mayo y noviembre, para estar en confort se necesitaría estar en sombra prácticamente todo el día.

En junio, julio, agosto, septiembre y octubre, para alcanzar el confort hay que permanecer a la sombra todo el día, ya que se alcanzan temperaturas medias máximas entre 24°C y 26,2°C, necesitando, además, para estar en confort, una velocidad de aire durante casi todo el día de 0,1 a 2 m/s.

En algunos casos en el mes de agosto o septiembre se podrían alcanzar temperaturas máximas absolutas en torno a los 30°C, por lo se necesitarán velocidades del aire de hasta 2,5 m/s, velocidad perfectamente tolerable para actividades al aire libre.

9.1 Condiciones de confort en el interior

Las condiciones de confort en el interior de las edificaciones se mantendrán, en los momentos más fríos del día, sencillamente porque las ganancias térmicas debidas a la ocupación, y a los momentos más cálidos del día, con unas protecciones solares adecuadas. Para ello sólo es necesario que el edificio tenga un buen aislamiento térmico y una inercia térmica adecuada.

Esta misma inercia térmica unida a un diseño que favorezca la ventilación necesaria, conseguirá el confort interior durante los meses más cálidos y húmedos del año, (agosto y septiembre).

Se necesitarán protecciones solares los mediodías de noviembre, marzo, abril y mayo, y durante todo el día en junio, julio, agosto, septiembre, octubre y noviembre. [157]

9.2 Monitorización de la vivienda unifamiliar:

En la vivienda se monitoriza temperatura y humedad del aire, temperatura en pared y techo y velocidad de viento interior. Con estos parámetros podemos establecer si la vivienda se mantiene dentro de la zona de confort a lo largo de todo el año y por lo tanto nos permite validar o corregir las distintas soluciones aplicadas. Con estos datos podemos establecer unos patrones claros de diseño para climas cálidos. Además se medirá la demanda de energía térmica para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, el uso de energía eléctrica para la iluminación y equipo eléctrico, la producción de energía en los sistemas solares térmicos y fotovoltaicos. Se calculara que la demanda total de energía primaria y se controlara por separado la energía consumida para la iluminación, equipos eléctricos domésticos (horno, placa de

inducción, nevera, lavavajillas, lavadora y secadora), y enchufes. Para un análisis más detallado, los actuadores, y todos los auxiliares tales como termostatos y ventiladores serán controlados también por separado. Las mediciones darán información detallada en las ganancias de calor internas relacionadas con la iluminación y los electrodomésticos, que se estiman pasaran a ser relevante en el balance energético de un edificio pasivo como este.

La información adicional sobre las ganancias térmicas y las condiciones de iluminación natural serán dadas por los dispositivos externos de seguimiento de la posición y listones en ángulos verticales que son controlados automáticamente para cada ventana. La apertura de las ventanas se registrará para controlar dónde, cuándo y cómo la ventilación natural puede proporcionar refrigeración gratuita.

Este tipo de medidas permitirán la elaboración de un seguimiento a largo plazo del comportamiento de los ocupantes y de los BACS (Sistemas de control de automatización de edificios).

El confort térmico y la calidad del aire en interiores serán supervisados por termómetros de globo, a través de un psicrómetro mediremos la humedad relativa, también contaremos con medidores de CO_2 y lúxometro en las habitaciones principales. El uso de termómetro de globo permitirá controlar el confort térmico en base a la temperatura operativa en contraste con la temperatura del aire.

Con el fin de correlacionar el rendimiento edificio con las condiciones externas, se instalara una estación meteorológica en el techo del edificio, que mide la temperatura exterior del aire, velocidad del viento, nivel iluminación externa, la radiación solar y la posición solar. Las temperaturas exteriores son monitoreadas adicionalmente por dos sensores cerca de los conductos de suministro del EHAE.

Eventualmente, todos de los datos medidos serán de utilidad para finalizar toda la fase de puesta en marcha edificio, llegando a la regulación óptima de todos los componentes del sistema.

Las diferentes estrategias de control de la ventilación natural y mecánica serán probadas y monitoreados, centrándose especialmente en efecto confort térmico debido al enfriamiento gratuito, siempre que sea posible.

9.2.1 Ejemplo de casa bioclimática en Canarias

Un ejemplo de casa bioclimática en Canarias podría ser la propuesta por el arquitecto José Luis Rodríguez Gil, y que ha sido promovida por el Instituto Tecnológico de Energías Renovables de Canarias. (158)

Se pretende crear una construcción totalmente integrada en el paisaje de y con la menor huella ecológica posible. En las figuras 17, 18, 19 podemos ver fotografías interiores y exteriores de esta vivienda unifamiliar.

Fig.17 Fotografía vivienda unifamilar

Predominan los materiales locales de origen volcánico como el basalto o el picón, el resto de materiales están certificados. La elección de los materiales hace que la vivienda esté plenamente integrada con el paisaje del entorno.

Fig.18 Fotografía exterior vivienda unifamiliar

Fig.19 Fotografía interior vivienda unifamiliar

El techo inclinado está diseñado para aprovechar al máximo la energía del sol con paneles solares, como se puede ver en la figura 20.

El muro de basalto ofrece protección contra el viento y el sol.

Fig.20 Plano que muestra los sistemas pasivos de protección y captación de energía solar

La orientación está diseñada para favorecer la ventilación natural y la protección del calor del sol, como podemos ver en la figura 21.

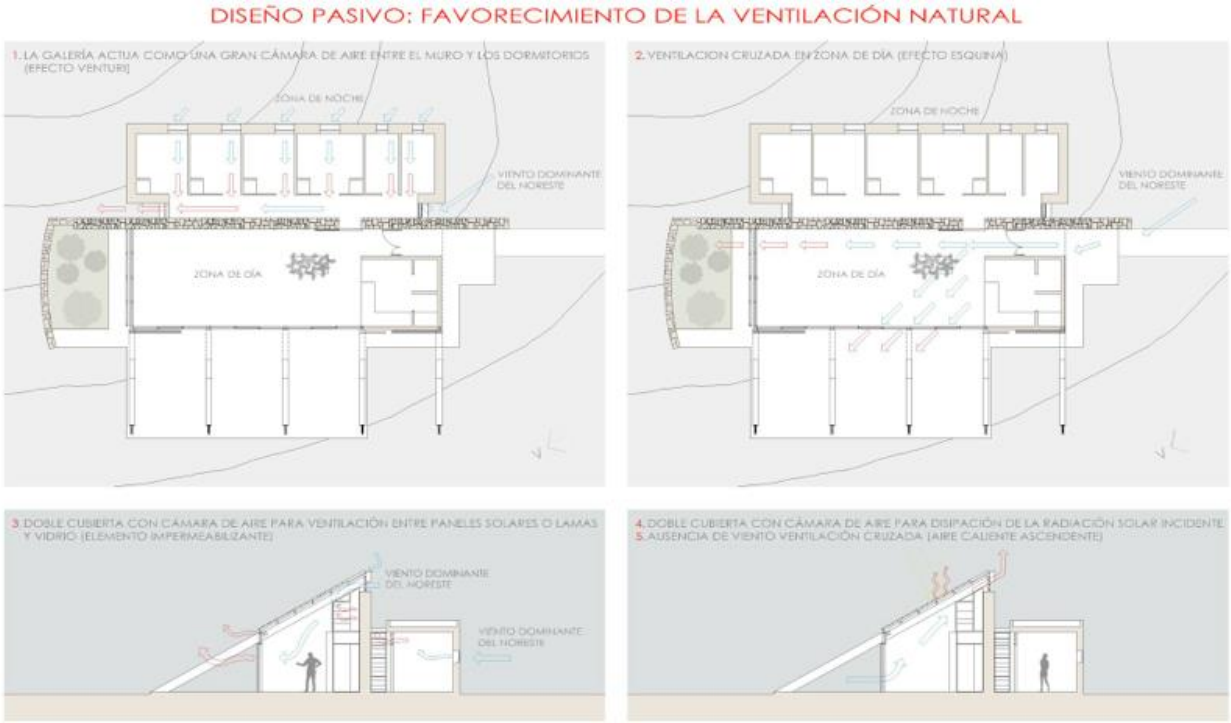


Fig.21. Plano que muestra recorrido del viento para favorecer la ventilación natural a través de un diseño pasivo.

Capítulo 10 Conclusiones y líneas futuras

Después de consultar cerca de 300 artículos y de haber seleccionado para este trabajo final de máster más de 150 artículos sobre los edificios de consumo de energía casi nulo y su multitud de variantes, donde se discuten las implicaciones del desarrollo sostenible, la metodología aplicable....

Las conclusiones son:

- Hay un creciente interés en el potencial de los ZEBs para ayudar a aliviar los problemas relacionados con el agotamiento de los recursos energéticos y el deterioro del medio ambiente. En términos generales, los ZEBs implican dos estrategias: La de minimizar la necesidad de uso de energía en los edificios a través de medidas de eficiencia energética y tecnologías de energía renovable que se adoptan (energías renovables y otras tecnologías) para satisfacer las necesidades de energía restantes.

Entre las medidas de eficiencia energética, se han identificado varias características sobresalientes.

- En primer lugar, el aislamiento térmico es menos efectivo en el enfriamiento de edificios con grandes cargas de calor internas en los climas más cálidos. Se debe prestar atención para evitar el exceso de aislamiento, lo que podría dar lugar a un aumento en el uso de energía para el espacio acondicionado.

- En segundo lugar, los techos reflectantes / verdes podrían no ser apropiados para los ZEBs debido a las necesidades de espacio en el techo generando un conflicto con las energías renovables, como paneles fotovoltaicos y aerogeneradores.

- En tercer lugar, la iluminación natural y los recientes avances en las tecnologías de iluminación (por ejemplo, balastos electrónicos regulables, controles digitales y lámparas LED) tienen un gran potencial de ahorro de energía. En este campo se necesita más trabajo.

- En cuarto lugar, se necesitan más encuestas de ocupación para establecer un rango de temperatura de interior más amplio para cada zona.

- Las tecnologías de energía renovable cubren fotovoltaica / fotovoltaica integrada en el edificio, los aerogeneradores, solar térmica (calentadores de agua solares), bombas de calor y calefacción / refrigeración. En general, la mayoría de las tecnologías de energía renovable están bastante bien establecidas. Sin embargo, la amplia difusión de los aerogeneradores y paneles fotovoltaicos puede causar, entre otras cosas, la inestabilidad y poner en peligro la calidad de la estructura de la red eléctrica existente. Los ZEBs idealmente debe ser diseñados

para funcionar en sinergia con la red eléctrica local y no perturbar la estabilidad de la infraestructura eléctrica existente. Se requiere más trabajo en "redes inteligentes" y estabilidad de la red.

- Los ZEBs jugarán un papel cada vez más importante en el desarrollo sostenible. Para mejorar esto, se requieren más trabajos en tres áreas: costos del ciclo de vida y análisis de impacto ambiental, en el cambio climático, y de política social.

Realizando este trabajo también nos hemos encontrados con varios “retos” en los cuales se deberían establecer líneas futuras de investigación.

- Un aspecto desafiante de los ZEBs es la comprensión, la incorporación y optimización del suministro de energía y los mecanismos de demanda de las futuras ciudades inteligentes. Una vez establecidas las ciudades inteligentes, los ZEBs se deberían anticipar no sólo al entendimiento de las características de funcionamiento de la ciudad, tales como la morfología, sino también abarcar las futuras redes de energía y el cambio entre las cargas térmicas y eléctricas, para dar cabida a la generación de energías renovables y a la cogeneración [52].

- Los ZEBs contribuirán de manera significativa a las ciudades inteligentes en la eficiencia energética, en el ahorro de energía, y en los aspectos de generación de energías renovables. La revisión de los trabajos científicos del pasado indica que los edificios pueden hacer la transición a ZEBs mediante la reducción de su consumo de energía, al menos dos tercios en comparación con su consumo de energía actual. Aun así se deberían crear protocolos o guías metodológicas que pudieran hacer ver claramente el ahorro exacto de energía que se obtendría por la reforma de una vivienda existente o por la construcción de un nuevo ZEBs.

- Hay puntos controvertidos en cuanto a la sostenibilidad de los ZEBs, incluyendo el análisis de ciclo de vida (ACV), el efecto rebote, así como las consideraciones del cambio climático, todos los estos requieren de mayores esfuerzos para su investigación y desarrollo. La mayoría de los estudios tiene en cuenta sólo la energía durante la fase de uso del edificio, mientras que de la energía necesaria, incorporada a los materiales de construcción apenas ha tenido atención en la literatura. La investigación adicional también debe fomentar la actitud social de los residentes de los edificios hacia el medio ambiente y el desarrollo sostenible, de modo que se evite el efecto rebote. El objetivo clave de la futura mejora de los ZEBs es su interacción activa con las redes de energía urbanas mediante el empleo de sistemas automatizados, nuevos diseños de parámetros y algoritmos de aprendizaje.

Capítulo 11 Referencias Bibliográficas

[1] European Commission. Proposal for a recast of the energy performance of buildings directive (2002-91-EC). SEC (2008)2865, Brussels; 2008.

[2] Pătrașcu Gh. Arhitectura și tehnica populară (Folk technique and architecture). Editura Tehnică, Bucharest; 1984.

[3] A'zami A. Badgir intraditional Iranian architecture. In: Proceedings of international conference on passive and low energy cooling for the built environment, Santorini, Greece; 2005.

[4] Sayigh A, Hamid Marafia A. Thermal comfort and the development of bioclimatic conceptin building design. Renew Sustain Energy Rev 1998; 2 (1– 2): 3–24.

[5] The Ceramic Society of Japan. Advanced Ceramic Technologies &Products. Springer, Tokyo; 2012.

[6] Sear F. Roman architecture. New York: Cornell University Press; 1982.

[7] Hahne E.The ITW solar heating system: an oldtimer fullyin action. Sol Energy 2000; 69(6):469–93.

[8] Spitler JD.Building performance simulation: the nowand the not yet. HVACR Res2006; 12 (3a):549–51.

[9] Vale B, Vale RJD. The autonomous house: design and planning for self- sufficiency. London: Thames and Hudson; 1975.

[10] ValeB, Vale RJD. Ecological Architecture: TheCutting Edge? In: Proceedings of Solar 97 – Australian and New Zealand Solar Energy Society, Canberra, Australia; 1997.paper72.

[11] Furr JE, Kibert NC, Mayer JT, Sentman SD. Green building and sustainable development: the practical legal guide. Chicago: ABA Publishing; 2009.

[12] Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD).Environ- mentally sustainable buildings. Challenges and policies. France: OECD Publishing; 2003.

[13] Fraunhofer-Gesellschaft.60yearsofFraunhofer-Gesellschaft; 2009[cited December 2013]; availablefrom http://www.fraunhofer.de/content/dam/zv/ en/documents/60_Years_of_Fraunhofer-Gesellschaft_tcm63-774.pdf.

[14] Stahl W, Voss K, Goetzberger A. Theself-sufficient solar house in Freiburg. Sol Energy 1994; 52 (1):111–25.

[15] Kriesi R.Comfortventilation – a keyfactorofthecomfortable,energy-efficient building. REHVAJ2011; 48(3):30–5.

[16] Spiegel halter T, Lee A. Designing carbon neutral plus energy buildings with site adaptive heliotropism cycles. In: Proceedings of the solar conference, World Renewable Energy Forum, Denver, USA; 2012

[17] Wang S. Intelligent buildings and building automation. Abingdon: Spon Press; 2010.

[18] Klingenberg K. Passive house concept, history and economic opportunities for the us building sector. The Passive House Institute US (PHIUS).2008.

[19] PassivHaus UK. BRE – PassivHaus Primer, [citedDecember2013] available from http://www.passivebuildings.ca/resources/Documents/BRE-PassivHaus- Primer.pdf.

[20] Feist W. Costefficient passive houses in central European climate. Darmstadt, Germany: PassiveHouse Institute; 1998.

[21] A SHRAE. Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality. Addendum n to ANSI/ ASHRAE Standard 62-2001; 2003.

[22] Ringer W. RADPAR WP 6, D13/4: Heating and Ventilation Systems in Low Energy and Passive Houses in Europe. Austrian Agency for Health and Food Control, Austria; 2011.

[23] National Renewable Energy Laboratory (NREL). Cooling Your Home with Fans and Ventilation. DOE/GO-102001-1278; Energy Efficiency and Renewable Energy; 2001.

[24]Torcellini P,S.Pless. Zero and Net-Zero Energy Building Homes. Building Design Construction (supplement); 2011; p. 4–7

[25]Torcellini P,PlessS, Deru M. Zero energy buildings: a critical look at the definition. In: Proceeding o face summer study on energy efficiency in buildings, Pacific Grove, USA; 2006;p.3

[26] Napolitano A. Towards net zero energy solar buildings. IEA SHC Task 40/ECBCS Annex 52, Copenhagen, Denmark, 16 June, 2010.

[27] Sartori I, Napolitano A, VossK. Net zero energy buildings: a consistent definition framework. EnergyBuild2012; 48:220–32.

[28] PassivHaus Institut. (2014). Home. Retrieved from. http://www.passiv.de/index phi.html

[29] Effinergie. (2014). Effinergie's website. Retrieved from. http://www.effinergie.org/

[30] Fokaides, P. A. (2012). Towards Zero Energy Buildings (ZEB): The role of environ-mental technologies. In O. Y. Ercoskun (Ed.), Green and ecological technologies for urban planning: Creating smart cities (pp. 93–111). USA: IGI Global. ISBN978-1-61350-453-6.

[31] Byrne, A., Byrne, G., Davies, A., & Robinson, A. J. (2013). Transient and quasi-steady thermal behaviour of a building envelope due to retrofitted cavity wall and ceiling insulation. Energy and Buildings, 61, 356–365.

[32] Harvey, L. D. D. (2007). Net climatic impact of solid foam insulation producedwith halocarbon and non-halocarbon blowing agents. Building and Environment,42(8), 2860–2879.

[33] Johansson, P., Hagentoft, C. E., & Kalagasidis, A. S. (2014). Retrofitting of a listed brickand wood building using vacuum insulation panels on the exterior of the facade:Measurements and simulations. Energy and Buildings, 73, 92–104.

[34] Tavares, P. F., Gaspar, A. R., Martins, A. G., & Frontini, F. (2014). Evaluation ofelectrochromic windows impact in the energy performance of buildings in Mediterranean climates. Energy Policy, 67, 68–81.

[35] Mastrapostoli, E., Karlessi, T., Pantazaras, A., Kolokotsa, D., Gobakis, K., & Santa mouris, M. (2014). On the cooling potential of cool roofs in cold climates: Use of cool fluorocarbon coatings to enhance the optical properties and the energy performance of industrial buildings. Energy and Buildings, 69, 417–425.

[37] Blengini, G. A., & Di Carlo, T. (2010). The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. Energy and Buildings, 42(6),869–880.

[38] Kalogirou, S. A. (2013). Solar thermoelectric power generation in Cyprus: Selection of the best system. Renewable Energy, 49, 278–281.

[39] Christoforou, E. A., & Fokaides, P. A. (2015). A review of quantification practices for plant derived biomass potential. International Journal of Green Energy, 12(4), 368–378.

[40] Fokaides, P. A., Christoforou, E. A., & Kalogirou, S. A. (2014). Legislation driven scenarios based on recent construction advancements towards the achievement of nearly zero energy dwellings in the southern European country of Cyprus. Energy, 66, 588–597.

[41] Desideri, U., Arcioni, L., Leonardi, D., Cesaretti, L., Perugini, P., Agabitini, E., et al.(2013). Design of a multipurpose zero energy consumption building according to European Directive 2010/31/EU: Architectural and technical plants solutions. Energy, 58, 157–167.

[42] Energie-Cités (2004). Energie-Cités' opinion on: Communication from the Com-mission to the Council, the European Parliament, the European Economicand Social Committee and the Committee of the Regions [COM (2004) 60 final]. Retrieved from http://www.energy-cities.eu/IMG/pdf/avis strategieenvironnement urbain en.pdf

[43] Buildings Performance Institute Europe (BPIE). (2011). Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings. ISBN: 9789491143014.

[44] Säynäjoki, A., Heinonen, J., & Junnila, S. (2012). A scenario analysis of the life cycle green-house gas emissions of a new residential area. Environmental Research Letters, 7, 034037.

[45] Woolley, T. (2013). Low impact building: Housing using renewable materials. Wiley-Blackwell. ISBN: 978-1-4443-3660-3.

[46] Hernandez, P., & Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). Energy and Buildings, 42,815–821.

[47] Allan, G., Hanley, N., McGregor, P., Swales, K., & Turner, K. (2007). The impact ofincreased efficiency in the industrial use of energy: A computable general equi-librium analysis for the United Kingdom. Energy Economics, 29, 779–798.

[48] Glomsrød, S., & Taoyuan, W. (2005). Coal cleaning: a viable strategy for reduced car-bon emissions and improved environment in China? Energy Policy, 33, 525–542.

[49] Grepperud, S., & Rasmussen, I. (2004). A general equilibrium assessment of reboundeffects. Energy Economics, 26, 261–282.

[50] Hanley, N., McGregor, P. G., Swales, J. K., & Turner, K. (2009). Do increases in energyefficiency improve environmental quality and sustainability? Ecological Eco-nomics, 68, 692–709.

[51] Hanley, N., McGregor, P. G., Swales, J. K., & Turner, K. (2006). The impact of a stim-ulus to energy efficiency on the economy and the environment: A regionalcomputable general equilibrium analysis. Renewable Energy, 31, 161–171.

[52] Bach, B., Wilhelmer, D., & Palensk, P. (2010). Smart buildings, smart cities and gov-erning innovation in the new millennium. In 8th IEEE international conference onindustrial informatics (INDIN) 13–16 July, (pp. 8–14).

[53] Lam JC, Hui SCM. Sensitivity analysis of energy performance of office buildings. Build Environ 1996; 31:27e39.

[54] Masoso OT, Grobler LJ. A new and innovative look at anti-insulation behaviour in building energy consumption. Energy Build 2008; 40:1889e94.

[55] Yu J, Yang C, Tian L, Liao D. A study on optimum insulation thickness of external walls in hot summer and cold winter zone of China. Appl Energy 2009; 86:2520e9.

[56] Daouas N. A study on optimum insulation thickness in walls and energy savings in Turisian buildings based on analytical calculation of cooling and heating transmission loads. Appl Energy 2011; 88:156e64.

[57] Mahlia TMI, Iqbal A. Cost benefit analysis and emission reductions of optimum thickness and air gaps for selected insulation materials for building walls in Maldives. Energy 2010; 35:2242e50.

[58] Commission Delegated Regulation (EU) No 244/2012. A comparative methodology framework for calculating cost-optimal levels of minimum energy performance requirements for buildings and building elements. Off J Eur Union 2012. L 81/18-L 81-29.

[59] Ren Z, Chen Z, Wang X. Climate change adaptation pathways for Australian residential buildings. Build Environ 2011; 46:2398-412.

[60] Guan L. Energy use, indoor temperature and possible adaptation strategies for air-conditioned office buildings in face of global warming. Build Environ 2012; 55:8-19.

[61] Wan KKW, Li DHW, Lam JC. Assessment of climate change impact on building energy use and mitigation measures in subtropical climates. Energy 2011; 36:1404e14.

[62] Lam JC, Wan KKW, Yang L. Sensitivity analysis and energy conservation measures implications. Energy Convers Manag 2008; 49:3170e7.

[63] Wan KKW, Li DHW, Pan W, Lam JC. Impact of climate change on building energy use in different climate zones and mitigation and adaptation implications. Appl Energy 2012; 97:274e82.

[64] Bojic M, Yik F, Leung W. Thermal insulation of cooled spaces in high rise residential buildings in Hong Kong. Energy Convers Manag 2002; 43: 165e83.

[65] Cheung CK, Fuller RJ, Luther MB. Energy-efficient envelope design for highrise apartments. Energy Build 2005; 37:37e48.

[66] Radhi H. Evaluating the potential impact of global warming on the UAE residential buildings e a contribution to reduce the CO2 emission. Build

Environ 2009; 44:2451e62.

[67] Kneifel J. Beyond the code: energy, carbon, and cost savings using conventional technologies. Energy Build 2011; 43:951e9.

[68] Gaterell MR, McEvoy ME. The impact of climate change uncertainties on the performance of energy efficiency measures applied to dwellings. Energy Build 2005; 37:982e95.

[69] Jentsch MF, Bahaj AS, James PAB. Climate change future proofing of buildings e generation and assessment of building simulation weather files. Energy Build 2008; 40:2148e68.

[70] Jenkins DP, Singh H, Eames PC. Interventions for large-scale carbon emission reductions in future UK offices. Energy Build 2009; 41:1374e80.

[71] Pulselli RM, Simoncini E, Marchettini N. Energy and energy based costbenefit evaluation of building envelopes relative to geographical location and climate. Build Environ 2009; 44:920e8.

[72] Frank Th. Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland. Energy Build 2005; 37:1175e85.

[73] Ouedraogo BI, Levermore GJ, Parkinson JB. Future energy demand for public buildings in the context of climate change for Burkina Faso. Build Environ 2012; 49:270e82.

[54] Givoni B. Effectiveness of mass and night ventilation in lowering the indoor daytime temperatures. Part I: 1993 experimental periods. Energy Build 1998; 28:25e32.

[75] Henze GP, Le TH, Florita AR, Felsmann C. Sensitivity analysis of optimal building thermal mass control. J Sol Energy Eng 2007; 129:473e85.

[76] Jentsch MF, Bahaj AS, James PAB. Climate change future proofing of buildings e generation and assessment of building simulation weather files. Energy Build 2008; 40:2148-68.

[77] Artmann N, Manz H, Heiselberg P. Climatic potential for passive cooling of buildings by night-time ventilation in Europe. Appl Energy 2007; 84:187-201.

[78] Weir G, Muneer T. Energy and environmental impact analysis of doubleglazed windows. Energy Convers Manag 1998; 39:243e56.

[79] Akbari H, Konopacki S, Pomerantz M. Cooling energy savings potential of reflective roofs for residential and commercial buildings in the United States. Energy 1999; 24:391-407.

[80] Boixo S, Diaz-Vicente M, Colmenar A, Castro MA. Potential energy savings from cool roofs in Spain and Andalusia. Energy 2012; 38:425e38.

[81] Tsang SW, Jim CY. Theoretical evaluation of thermal and energy performance of tropical green roofs. Energy 2011; 36:3590e8.

[82] Badescu V, Laaser N, Crutescu R.Warmseason cooling requirements for passive buildings in Southeastern Europe (Romania). Energy 2010; 35: 3284e300.

[83] Li DHW, Yang L, Lam JC. Impact of climate change on energy use in the built environment in different climate zones e a review. Energy 2012; 42:103-12.

[84] Shipworth M, Firth SK, Gentry M, Wright AJ, Shipworth DT, Lomas KJ. Central heating thermostat settings and timing: building demographics. Build Res Inform 2010; 38:50e69.

[85] Camilleri M, Jaques R, Isaacs N. Impacts of climate change on building performance in New Zealand. Build Res Inform 2001; 29:440e50.

[86] Lam JC, Tsang CL, Yang L. Impacts of lighting density on heating and cooling loads in different climates in China. Energy Convers Manag 2006; 47:1942e53.

[87] Lam JC. An analysis of residential sector energy use in Hong Kong. Energy 1996;21:1-8.

[88] Lam JC, Chan RYC, Tsang CL, Li DHW. Electricity use characteristics of purpose-built office buildings in subtropical climates. Energy Convers Manag 2004; 45:829-44.

[89] Ardehali MM, Smith TF. Evaluation of variable volume and temperature HVAC system for commercial and residential buildings. Energy Convers Manag 1996; 37:1469-79.

[90] Zhu W, Jiang Y. Energy conservation using variable-speed chilled water pumps for single-loop chilled water systems with fan-coil units. Energy Eng 2003; 100:22e36.

[91] Teitel M, Zhao Y, Barak M, Bar-lev E, Shmuel D. Effect on energy use and greenhouse microclimate through fan motor control by variable frequency drives. Energy Convers Manag 2004; 45:209-23.

[92] Ahmed A. Advanced chiller optimal control. AIRAH J 1994; 48:37-42.

[93] Hartman TB. Instrumentation issues for monitoring chiller plant efficiency. ASHRAE Trans 2001; 107:407-14.

[94] Chidiac SE, Catania EJC, Morofsky E, Foo S. Effectiveness of single and multiple energy retrofit measures on the energy consumption of office buildings. Energy 2011; 36:5037-52.

[95] Marszal AJ, Heiselberg P, Bourrelle JS, Musall E, Voss K, Sartori I, et al. Zero energy building e a review of definitions and calculation methodologies. Energy Build 2011; 43:971-9.

[96] Lund H, Marszal A, Heiselberg P. Zero energy buildings and mismatch compensation factors. Energy Build 2011; 43:1646-54.

[97] Nielsen S, Moller B. Excess heat production of future net zero energy buildings within district heating areas in Denmark. Energy 2012; 48:23-31.

[98] Tiwari GN, Mishra RK, Solanki SC. Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modelling. Appl Energy 2011; 88:2287-304.

[99] Sharma R, Tiwari GN. Technical performance evaluation of stand-alone photovoltaic array for outdoor field conditions of New Delhi. Appl Energy 2012; 92:6445-2.

[104] Li DHW, Lam TNT, Chan WWH, Mak AHL. Energy and cost analysis of semitransparent photovoltaic in office buildings. Appl Energy 2009; 86:722-9.

[102] Tiwari GN, Mishra RK, Solanki SC. Photovoltaic modules and their applications: a review on thermal modelling. Appl Energy 2011; 88:2287-304.

[105] Cheng TC, Cheng CH, Huang ZZ, Liao GC. Development of an energy-saving module via combination of solar cells and thermoelectric coolers for green building applications. Energy 2011; 36:133-40.

[106] Li DHW, Cheung KL, Lam TNT, Chan WWH. A study of grid-connected photovoltaic (PV) system in Hong Kong. Appl Energy 2012; 90:122-7.

[107] Su Y, Chan LC, Shu L, Tsui KL. Real-time prediction models for output power and efficiency of grid-connected solar photovoltaic systems. Appl Energy 2012; 93:31926.

[108] Strzalka A, Alam N, Duminil E, Coors V, Eicker U. Large scale integration of photovoltaics in cities. Appl Energy 2012; 93:413-21.

[109] Foley AM, Leahy PG, Marvuglia A, McKeogh EJ. Current methods and advances in forecasting of wind power generation. Renew Energy 2012; 37:1-8.

[110] Celik AN. Optimisation and techno-economic analysis of autonomous photovoltaic-wind hybrid energy systems in comparison to single photovoltaic and wind systems. Energy Convers Manag 2002; 43:2453-68.

[112] Nandi SK, Ghosh HR. Prospect of wind-PV-battery hybrid power system as an alternative to grid extension in Bangladesh. Energy 2010; 35:3040-7.

[113] Liu W, Lund H, Mathiesen BV. Large scale integration of wind power into the existing Chinese energy system. Renew Energy 2011; 36:4753-60.

[114] Shimoda Y, Okamura T, Yamaguchi Y, Yamaguchi Y, Taniguchi A, Morikawa T. City-level energy and CO2 reduction effect by introducing new residential water heaters. Energy 2010; 35:4880-91.

[115] Kalogirou SA. Performance enhancement of an integrated collector storage hot water system. Renew Energy 1999; 16:652-5.

[116] RoonprasangN,Namprakai P, PratinthongN. Experimental studies of a newsolar water heater system using a solar water pump. Energy 2008; 33:639-46.

[117] Chien CC, Kung CK, Chang CC, Lee WS, Jwo CS, Chen SL. Theoretical and experimental investigations of a two-phase thermosyphon solar water heater. Energy 2011; 36:415-23.

[118] Chong KK, Chay KG, Chin KH. Study of a solar water heater using stationary V-trough collector. Renew Energy 2012; 39:207-15.

[119] Bornatico R, Pfeiffer M, Witzig A, Guzzella L. Optimal sizing of a solar thermal building installation using particle swarm optimization. Energy 2012; 41:31-7.

[120] Chua KJ, Chou SK, Yang WM. Advances in heat pump systems: a review. Appl Energy 2010; 87:3611-24.

[121] Kong XQ, Zhang D, Li Y, Yang QM. Thermal performance analysis of a directexpansion solar-assisted heat pump water heater. Energy 2011; 36:6830-8.

[122] Yang H, Cui P, Fang Z. Vertical-borehole ground-coupled heat pumps: a review of models and systems. Appl Energy 2010; 87:16-27.

[123] Pulat E, Coskun S, Unlu K, Yamankaradeniz N. Experimental study of horizontal ground source heat pump performance for mild climate in Turkey. Energy 2009; 34:1284-95.

[124] Man Y, Yang H, Wang J. Study on hybrid ground-coupled heat pump system for air-conditioning in hot-weather areas like Hong Kong. Appl Energy 2010; 87: 2826-33.

[125] Bakirci K. Evaluation of the performance of a ground-source heat-pump system with series GHE (ground heat exchanger) in the cold climate region.

Energy 2010; 35: 3088-96.

[126] Ozgener O. Use of solar assisted geothermal heat pump and small wind turbine systems for heating agricultural and residential buildings. Energy 2010; 35:262e8.

[127] Asif M, Muneer T, Kelley R. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. Build Environ 2007; 42:1391-4.

[128] Fridley DG, Zheng N, Zhou N. Estimating total energy consumption and emissions of China's commercial and office buildings. LBNL-248E. Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory; 2008.

[129] Nawaz I, Tiwari GN. Embodied energy analysis of photovoltaic (PV) system based on macro- and micro-level. Energy Policy 2006; 34:3144-52.

[130] Greening B, Azapagic A. Domestic heat pumps: life cycle environmental impacts and potential implications for the UK. Energy 2012; 39:205-17.

[131] Hernandez P, Kenny P. From net energy to zero energy buildings: defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). Energy Build 2010; 42:815-21.

[132] Dickinson J, Jackson T, Mathews M, Cripps A. The economic and environmental optimization of integrating ground source energy systems into buildings. Energy 2009; 34:2215 22.

[133] Psomopoulos CS, Skoula I, Karras C, Chatzimiros A, Chionidis M. Electricity savings and CO2 emissions reduction in buildings sector: how important the network losses are in the calculation? Energy 2010; 35:485-90.

[134] Soimakallio S, Kiviluoma J, Saikku L. The complexity and challenges of determining GHG (greenhouse gas) emissions from gridded electricity consumption and conservation in LCA (life cycle analysis) e a methodological review. Energy 2011; 36:6705-13.

[135] Schaeffer R, Szklo AS, de LucenaAFP, Borba BSMC,Nogueira LPP, FlemingFP, et al. Energy sector vulnerability to climate change: a review. Energy 2012; 38:1e12.

[136] Robert A, Kummert M. Designing net-zero energy buildings for the future climate, not for the past. Build Environ 2012; 55:150-8.

[137] Yang L,Wan KKW, Li DHW, Lam JC. A new method to develop typical weather years in different climates for building energy studies. Energy 2011; 36:6121-9.

[138] Wan KKW, Li DHW, Liu D, Lam JC. Future trends of building heating and cooling loads and energy consumption in different climates. Build Environ 2011; 46:223-34.

[139] Assilzadeh F, Kalogirou SA, Ali Y, Sopian K. Simulation and optimization of a LiBr solar absorption cooling system with evacuated tube collectors. Renew Energy 2005; 30:1143-59.

[140] Kalogirou SA. Solar energy engineering: processes and systems. London: Academic Press; 2009.

[141] https://es.wikipedia.org/wiki/Geograf%C3%ADa_de_Canarias#Clima

[142]http://www.gevic.net/info/contenidos/mostrar_contenidos.php?idcomarca=1&idcon=531&idcap=92&idcat=22

[143] Wikipedia, Mediterranean climate, in.

[144] L. Pagliano, S. Carlucci, T. Toppi, P. Zangheri, Passivhaus per il sud dell'Europa - Linee guida per la progettazione., in, Rockwool Italia, Milano, 2009.

[145] D.K. Serghides, C.G. Georgakis, The building envelope of Mediterranean houses: Optimization of mass and insulation, Journal of Building Physics, 36 (2012) 83-98.

[146] T. de Saulles, Thermal Mass Explained, MPA - The Concrete Centre, Camberley, 2009.

[147] S. Jaber, S. Ajib, Optimum technical and energy efficiency design of residential building in Mediterranean region, Energy Buildings, 43 (2011) 1829-1834.

[148] M. Santamouris, D. Kolokotsa, Passive cooling dissipation techniques for buildings and other structures: The state of the art, Energ Buildings, 57 (2013) 74-94.

[149] S.A. Al-Sanea, M.F. Zedan, Effect of insulation location on initial transient thermal response of building walls, Journal of Building Physics, 24 (2001) 275-300.

[150] S. Stevanovi, Optimization of passive solar design strategies: A review, Renewable and Sustainable Energy Reviews, 25 (2013) 177-196.

[151] D.B. Crawley, L.K. Lawrie, F.C. Winkelmann, W.F. Buhl, Y.J. Huang, C.O. Pedersen, R.K. Strand, R.J. Liesen, D.E. Fisher, M.J. Witte, J. Glazer, EnergyPlus: Creating a new-generation building energy simulation program, Energ Buildings, 33 (2001) 319-331.

[152] A.S. Nordby, S. Carlucci, Linee guide per l'implementazione di un processo di Progettazione integrata per edifici ad alte prestazioni energetiche ed ambientali, in, MaTrID Project, 2014.

[153] S. Carlucci, L. Pagliano, An optimization procedure based on thermal discomfort minimization to support the design of comfortable net zero energy buildings, in "in Proceedings of Building Simulation 2013, IBPSA, Chambery, 2013, pp. 3690-3697.

[154] S. Carlucci, L. Pagliano, P. Zangheri, Optimization by discomfort minimization for designing a comfortable net zero energy building in the Mediterranean climate, Advanced Materials Research, 689 (2013) 44-48.

[155] P.O. Fanger, Thermal comfort: Analysis and applications in environmental engineering, Danish Technical Press, 1970.

[156] ISO, Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria, in: Ergonomics of the thermal environment, International Organization for Standards, Geneva, 2005, pp. 52.

[157] http://www.renovae.org/mabican/

[158] http://casas.iter.es/el_muro/es

[159] EN 15251, Indoor Environmental Input Parameters for Design and Assessment of Energy Performance of Buildings Addressing Indoor Air Quality, Thermal Environment, Lighting and Acoustics, in, European Committee for Standardization, Brussels, Belgium, 2007.

[160] Constantin Ionescu [n], Tudor Baracu, Gabriela-Elena Vlad, Horia Necula, Adrian Badea, The historical evolution of the energy efficient buildings, Renewable and Sustainable Energy Reviews 49 (2015) 243–253.

[161] Danny H.W. Li, Liu Yangb, Joseph C. Lamla, Zero energy buildings and sustainable development implications - A review, Energy 54 (2013) 1-10