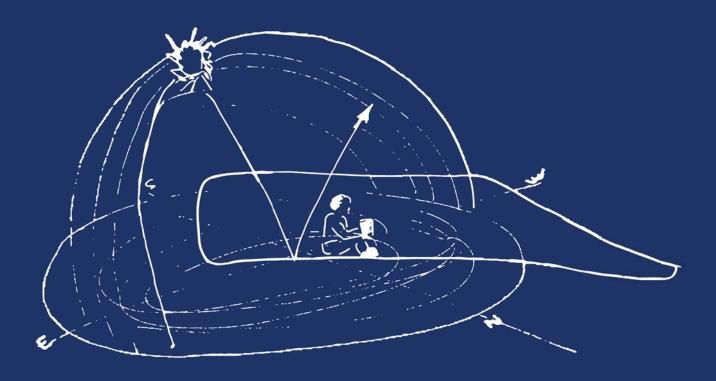


UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Departamento de Construcción Arquitectónica



ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICIOS nZEB EN CLIMAS DESÉRTICOS CÁLIDOS APLICANDO EL MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

EL CASO PARTICULAR DE LAS COSTAS DE LAS ISLAS CANARIAS

TESIS DOCTORAL

Manuel Montesdeoca Calderín Arquitecto

Las Palmas de Gran Canaria 2015



UNIVERSIDAD DE LAS PALMAS DE GRAN CANARIA

Departamento de Construcción Arquitectónica

PROGRAMAS DE DOCTORADO

RESTAURACIÓN Y REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA

CONSTRUCCIÓN ARQUITECTÓNICA. TRADICIÓN CONSTRUCTIVA

VERSUS INNOVACIÓN TECNOLÓGICA ACTUAL

TESIS DOCTORAL

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICIOS NZEB EN CLIMAS DESÉRTICOS CÁLIDOS APLICANDO EL MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

EL CASO PARTICULAR DE LAS COSTAS DE LAS ISLAS CANARIAS

Doctorando: D. Manuel Montesdeoca Calderín

Director: Dr. D. Manuel Martin Monroy

El Director El Doctorando

Las Palmas de Gran Canaria, a 21 de septiembre de 2015

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICIOS nZEB EN CLIMAS DESÉRTICOS CÁLIDOS APLICANDO EL MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

A Inés, a mi hija Inés, a mis padres

AGRADECIMIENTOS

El más profundo agradecimiento a mi familia, por el apoyo incondicional prestado y por haber permitido hurtarles el tiempo que debería haberles dedicado.

Ante la imposibilidad de hacer una referencia individualizada a todos y cada uno de mis compañeros y amigos que, de una forma u otra, me han ayudado a hacer realidad este trabajo, quiero transmitirles a todos mi gratitud y mis disculpas por no hacer alusión expresa a cada uno de ellos.

No obstante, debo realizar una excepción y agradecer de manera especial a los profesores y amigos Dolores Cabrera López y al Dr. Francisco Javier Solís Robaina, por las sugerencias y ayudas recibidas durante las últimas etapas de este trabajo de investigación.

Me resultaría imposible concluir este apartado sin hacer una excepción al citar a mi mentor Dr. Don Agustín Juárez Rodriguez, a mi compañero el Dr. D. Francisco Ortega Andrade y a mi Director de Tesis Dr. D. Manuel Martín Monroy. A todos ellos les agradezco la paciencia mostrada y el ánimo que me han transmitido durante este largo camino.

RESUMEN

El 19 de mayo de 2010 el Parlamento de Europa y el Consejo de la Comisión aprobó la Directiva 2010/31/ UE relativa a la eficiencia energética de los edificios. Esta nueva Directiva, refundición de la Directiva 2002/91/CE, exige que, a partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios de nueva construcción deberán ser edificios de energía casi nula (Nearly Zero-Energy Buildings [nZEB]). Tal y como se enuncia en esta Directiva, la eficiencia energética de los edificios debe calcularse con una metodología que puede ser diferente a escala nacional y regional, y debe incluir, no solo las características térmicas, sino también otros factores que desempeñan un papel cada vez más importante, tales como los elementos pasivos de calefacción y refrigeración, el sombreado, etc....

El Archipiélago Canario se caracteriza por el clima desértico cálido de sus costas, el cual es único en el ámbito europeo y, además, diverge del resto de climas que se dan en otros territorios de la UE. Esta singularidad no ha impedido que, desde el punto de vista de la eficiencia energética de edificios, y dada la escasa relevancia que, tanto a nivel territorial como poblacional, tiene el Archipiélago Canario respecto al total de Europa, los legisladores nacionales obvien esta singularidad climática, imposibilitando que los edificios que se proyecten y construyan en esta región puedan alcanzar la categoría de edificios nZEB, algo que resultaría factible si se consintiera evaluar el confort térmico de los edificios aplicando tanto el modelo adaptativo, como estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático.

Por ello, en el presente trabajo de investigación se pretende analizar todas aquellas estrategias bioclimáticas que permitan que los edificios que se ubiquen en las costas de las Islas Canarias, alcancen la categoría nZEB, utilizando para ello, el modelo de confort adaptativo.

Palabras clave: Arquitectura Bioclimática, Eficiencia Energética, Edificios de energía casi nula, nZEB, Confort adaptativo.

SUMMARY

On 19 May 2010 the European Parliament and the Council of the Commission adopted Directive 2010/31 / EU on the energy efficiency of buildings. This new directive, recasting Directive 2002/91 / EC requires that, as of December 31, 2020, all new buildings must be Nearly Zero-Energy Buildings (NZEB). As set out in this Directive, the energy efficiency of buildings should be calculated using a methodology that can be differentiated at national and regional levels, and should include not only the thermal characteristics, but also other factors that star to have a more important role, such as passive heating and cooling elements, shading, etc...

The Canaries are characterised by the warm desert climate of its coast, which is unique in Europe and also diverges from other climates that occur in other EU territories. This uniqueness has not prevented, from the point of view of energy efficiency of buildings, and taking in account the limited relevance that the Canaries may have, referred to territory and population compared to the hole of Europe, national legislators to obviate this climatic singularity, making it impossible for the buildings are designed and built in this region to reach the category of buildings NZEB, something that would be feasible if consent evaluate the thermal comfort of buildings using both adaptive model, as architectural bioclimatic design strategies.

Therefore, the present research is to analyse all the bioclimatic strategies for the buildings that are located on the coast of the Canary Islands, reaching NZEB category, using the model of adaptive comfort.

Keywords: bioclimatic architecture, energy efficiency, nearly zero energy buildings, NZEB, adaptive comfort.

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	3
	1.1 ANTECEDENTES	7
	1.2JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	9
	1.3OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	12
	1.4METODOLOGÍA	13
	1.5 FUENTES BIBLIOGRÁFICAS	15
	1.6SOFTWARE DE CÁLCULO	15
2	ESTADO DEL CONOCIMIENTO	21
	2.1EL CLIMA DESERTICO CÁLIDO	••
	2.2 CONFORT TÉRMICO ADAPTATIVO	••
	2.3 EDIFICIOS nZEB. EDIFICIOS DE ENERGÍA CASI NULA	
	EN CLIMAS CÁLIDOS	••
	2.3.1Aspectos normativos	••
	2.3.2Hacia los edificios de energía casi nula (nZEB)	
2 _	DISEÑO METODOLÓGICO	
J		
	3.1ACOTACIÓN DE LA SIMULACIÓN	••
	3.2CONDICIONES DE CONTORNO	
	3.2.1Condiciones externas de diseño	••
	3 2 2 - Condiciones internas de diseño	

	3.3 EL RECINTO MODELO
	3.3.1Geometría de los recintos
	3.3.2 Parámetros geométricos y termofísicos de la envolvente
	A Envolvente térmica opaca
	B Envolvente térmica semitransparente
	C Particiones interiores
	3.4 GANANCIAS INTERNAS EN USO RESIDENCIAL VIVIENDAS
	3.5APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA GESTIÓN Y
	ANÁLISIS DE RESULTADOS
4	SIMULACIONES ENERGÉTICAS
	4.1METODOLOGÍA
	4.2 SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN
	4.3CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS NECESARIOS PARA UNA CORRECTA SIMULACIÓN
	4.3.1 Modelización de recintos
	4.3.2 Perfiles de uso
	4.3.3Cerramientos opacos
	4.3.4 Huecos
	4.3.5Ventilación
	A Ventilación mecánica. La ventilación de confort
	B Ventilación natural. La ventilación nocturna
	4.3.6Exportación a EnergyPlus

	4.4.	- SIMUL	ACION P	ARAMETRI	ICA EN ENERGY	PLUS		
		4.4.1	Calibrac	ión de la ve	ntilación			
		4.4.2	Configur	ación parar	métrica			
	4.5.	- ANÁLIS	SIS DE R	ESULTADO)S			
		4.5.1	Fase 1	Simulación	n paramétrica arch	nivos Patró	n	
			Fase 2	Mejora	Transmitancia	límite	de	la
		4.5.3	Fase 3	Mejora Tra	ansmitancia límite	del Hueco		
		4.5.4	Resume	n Fases 1 a	a 3			
		4.5.5	Fase 4	Evaluar ca	pacidad térmica s	uelo interio	r	
		4.5.6	Fase 5	•	los parámetros ticos de la envolve	ente		
		4.5.7	Resume	n Fases 4 a	a 5			
		4.5.8	Fase 6	Mejora Fa	ctor de sombra de	el		
				dispositivo	móvil de protecci	ión solar		
5	COI	NCLUSIO	ONES Y N	NUEVAS LÍ	NEAS DE INVES	TIGACIÓN		
	5.1.	- CONCI	LUSIÓN (GENERAL .				
	5.2.	- CONCI	LUSIONE	S PARTICI	JLARES			
	5.3.	- NUEVA	AS LÍNEA	S DE INVE	STIGACIÓN			
6					REFERENCIAS AS			
	6.1.	- BIBLIO	GRAFÍA					
	6.2.	- NORM	ATIVA					
		6.2.11	Normativa	a nacional				

A Normativa básica	
B Normas UNE consultadas	
6.2.2 Directivas Europeas	
6.3ARTÍCULOS Y TRABAJOS DE INVESTIGACIÓN	
6.4OTRAS FUENTES DE INFORMACÓN	
6.4.1Revistas y cuadernos	
6.4.2 Otras fuentes	

APÉNDICE A - TERMINOLOGÍA

APÉNDICE B - ÍNDICE DE TABLAS

APÉNDICE C - ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

APÉNDICE D - LISTADO MACROS DE LA APLICACIÓN "GESTIÓN DE RESULTADOS SIMULACIONES TESIS"

APÉNDICE E: CD

TESIS DOCTORAL

FICHERO SIMULACIÓN EN FORMATO DESINGBUILDER

FICHEROS PARAMÉTRICOS EN FORMATO ENERGYPLUS

"Los edificios privados estarán correctamente ubicados si se tiene en cuenta, en primer lugar, la latitud y la orientación donde van a levantarse. Muy distinta es la forma de construir en Egipto, en España, en el Ponto, en Roma e igualmente en regiones o tierras que ofrecen características diferentes, ya que hay zonas donde la tierra se ve muy afectada por el curso del sol; otras están muy alejadas y otras, en fin, guardan una posición intermedia y moderada.

.

Por el contrario, en países meridionales, castigados por un sol abrasador, los edificios deben ser abiertos y orientados hacia el cierzo. Así, por medio del arte se deben paliar las incomodidades que provoca la misma naturaleza. De igual modo se irán adaptando las construcciones en otras regiones, siempre en relación con sus climas diversos y con su latitud".

Vitruvio Polion, M. L.

Los diez libros de Arquitectura

Libro VI. Capítulo I - "Las condiciones climáticas y la disposición de los edificios"



Marc-Antoine Laugier. La cabaña primitiva

1.- INTRODUCCIÓN

"El hombre quiere hacerse un alojamiento que le cubra sin sepultarle. Algunas ramas cortadas en el bosque son materiales adecuados para su diseño. Escoge cuatro de las más fuertes, las levanta perpendicularmente y las dispone formando un cuadrado. Encima pone otras cuatro atravesadas y sobre estas levanta, partiendo de dos lados, un grupo de ramas que, inclinadas contra sí mismas, se encuentran en el punto alto. Cubre esta especie de tejado con hojas, lo bastante juntas para que ni el sol ni la lluvia puedan traspasarlo; y ya está el hombre alojado. Ciertamente, el frío y el calor le harán sentirse incomodo en su casa abierta por todas partes; pero entonces rellenará el hueco entre pilares y se sentirá resguardado.

Así evoluciona la naturaleza, siendo la imitación de su proceder lo que da origen al nacimiento del arte. La pequeña cabaña rústica que acabo de describir es el modelo a partir del cual se han imaginado todas las magnificencias de la arquitectura. Acercándonos, en la realización, a la simplicidad de este primer modelo, es como evitamos todos los defectos esenciales, como alcanzamos la verdadera perfección. (...)". (Laugier. 1999, pp. 44-45).

El primer refugio construido por el hombre se ha erigido, como origen de la construcción del paisaje antropizado, en el símbolo primigenio de la arquitectura, en la imagen más atrayente y controvertida de todos los tiempos.

Desde la antigüedad, el hombre ha buscado la forma de resguardarse de los rigores del clima, de crear un refugio donde habitar, donde establecer todo tipo de relaciones sociales, el lugar donde plasmar todas las transformaciones que él mismo ha ido experimentado. En este sentido el icono de la cabaña primitiva resulta esencial, pues constituye el punto de referencia sobre la naturaleza de la construcción.

De las iniciales necesidades de protección climática, el ser humano ha ido progresando hacia posiciones de mayores exigencias de confort, y debido a ello, la construcción ha tenido que ir transformándose para adaptarse a dichos requerimientos. De la construcción homogénea, donde "el espesor de los muros, exigido por el proceso constructivo o la función del soporte, brindaba una protección térmica suficiente para las exigencias de confort de la época" (Paricio. 1989, p. 35), se ha evolucionado progresivamente hacia la construcción heterogénea, donde la envolvente térmica se transforma en un sándwich compuesto por la interposición de diferentes materiales especialistas, en el que cada uno de ellos cumple una función principal.

Antes de la primera crisis energética, año 1973, la confianza en unas ilimitadas disponibilidades de las fuentes de suministro convencionales, unido a su bajo precio, permitió unos consumos muy altos de energía, derivados de la pretensión de disponer en los edificios, de sistemas de calefacción que satisficieran el desmesurado incremento de la demanda de confort térmico por parte de los usuarios. La necesidad de aislar térmicamente los edificios era una práctica poco habitual, que no estaba arraigada, exceptuando las construcciones de alto coste o aquellos edificios destinados a usuarios de alto nivel social y económico. La conciencia colectiva estaba centrada en cómo producir y distribuir calor a cada una de los recintos habitables, en busca del deseado confort térmico, sin pensar en cómo evitar las pérdidas térmicas a través de los cerramientos.

Es a partir de esta primera crisis energética mundial, en la que el petróleo se convierte en un bien escaso y gravoso, cuando los países industrializados comienzan a desarrollar, de forma precipitada, leyes y normas de obligado cumplimiento, cuya finalidad es la de controlar el gasto energético, regulando las pérdidas de energía en los sectores de mayor consumo, entre los que se encuentra la edificación. En esos momentos comienza a implementarse el concepto de "Ahorro de Energía".

Uno de los efectos colaterales del excesivo consumo energético, basado fundamentalmente en la quema de combustibles fósiles, ha sido el aumento

drástico de la cantidad de dióxido de carbono en la atmósfera y el aumento de las temperaturas en la Tierra.

El 4º Informe de Grupo Intergubernamental de Cambio climático (IPCC) indica que el calentamiento del sistema climático es inequívoco y que en su mayor parte se debe, muy probablemente, al aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) provocado por actividades humanas como el uso extendido de combustibles fósiles, la descomposición de residuos urbanos o ganaderos y los cambios en el uso de la tierra como consecuencia.



Fig. 1.1: Este gráfico, basado en la comparación de muestras atmosféricas extraídas de los núcleos de hielo y las mediciones directas más recientes, proporciona evidencia de que el CO₂ atmosférico se ha incrementado desde la Revolución Industrial.

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration o NOAA

La temperatura de la atmósfera a nivel superficial ha sufrido un calentamiento progresivo desde el comienzo de la era industrial hasta nuestros días de 0,6° C de media, registrándose un aumento mayor en algunas zonas como los polos o el arco mediterráneo.

El efecto invernadero es un fenómeno natural esencial para el desarrollo de la vida en la tierra. Gases en la atmósfera, como el vapor de agua (nubes), dióxido de carbono (CO₂), metano (CH₄) y óxido nitroso (N₂O), permiten la entrada de la radiación solar de alta frecuencia (ultravioleta), que traspasan la atmósfera con gran facilidad, y es absorbida, en parte, por la corteza terrestre

y los océanos, calentando el planeta. El resto de la energía se irradia hacia el espacio en forma de energía de baja frecuencia (infrarroja). Aunque parte de esta energía infrarroja se irradie hacia el espacio, otra parte es absorbida y reemitida por el vapor de agua y otros gases de efecto invernadero a la atmósfera. Esta energía absorbida ayuda a calentar la superficie del planeta y la atmósfera, manteniendo la temperatura media global en +15 ° C en lugar de -18 ° C.

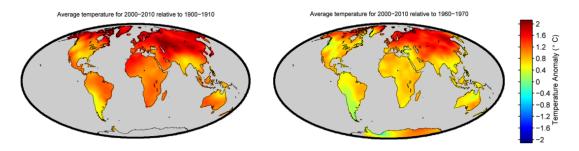


Fig. 1.2: El gráfico muestra los cambios medios decenales en la temperatura de la tierra. En el gráfico de la izquierda, la comparación se establece entre la temperatura media en 1900 a 1910 y la temperatura media en 2000 y 2010. En el gráfico de la derecha, el mismo comparación se hace pero usando el intervalo de 1960 a 1970. Se observa el calentamiento en todos los continentes con mayor incidencia en las latitudes altas y menor incidencia en el sur de América del Sur.

Fuente: Berkeley Earth Surface Temperature Project (2011).

Existe un amplísimo consenso entre los científicos en que una de las principales causas que ha motivado el cambio climático ha sido la de las emisiones de gases de efecto invernadero producidas por la actividad humana. La interrelación existente entre el desmesurado consumo de energía convencional y el cambio climático, impone un cambio en el modelo energético actual por otro más eficiente y sustentable. Combatir el cambio climático requiere una transición urgente hacia un modelo de desarrollo sostenible basado en la eficiencia y en la equidad, así como en la apuesta decidida por las energías renovables.

1.1.- ANTECEDENTES

Hoy en día son pocas las voces que ponen en duda la existencia del pick-oil (pico o cenit del petróleo que se producirá cuando se haya extraído aproximadamente la mitad del crudo mundial), en lo que no hay consenso todavía es en cuándo se producirá y cuáles serán sus consecuencias. La Agencia Internacional de la Energía dice que no antes del 2030, y que, por tanto, no es un problema inmediato. Sin embargo diversas y fundadas opiniones de expertos energéticos mundiales vaticinan que ese techo de extracción está bastante más cercano, algunos señalan que se producirá en los próximos diez años, y otros opinan que puede que estemos atravesándolo ya.

Dicho lo anterior, se hace necesario mencionar la irrupción en los mercados del gas y el petróleo procedente del fracking (fractura hidráulica) que, a pesar de su alto coste medioambiental, a nivel mundial está contribuyendo a la disminución de los precios del petróleo.

Ante este panorama, los objetivos prioritarios en política de eficiencia energética deben centrarse en mitigar la dependencia de fuentes energéticas procedentes de yacimientos fósiles, en fomentar el uso de energías renovables y en reducir las emisiones de CO₂. Estas emisiones se reducen disminuyendo el consumo de energía de las edificaciones, y este consumo depende de la relación entre la demanda energética del propio edificio y el rendimiento medio del sistema de instalaciones.

La demanda energética de un edificio está en relación directa con el balance energético del mismo, donde las aportaciones de energía deben igualar a las pérdidas. A menudo, para compensar las pérdidas y ganancias, hace falta un aporte de energía extra, ese que aportarían los sistemas de calefacción o refrigeración, dependiendo sí para conseguir una situación de confort térmico se necesita calentar o enfriar el ambiente de forma artificial, complementario al balance natural. Por tanto, es fácil deducir que el objetivo principal de las

instalaciones de climatización es equilibrar el balance térmico, con la finalidad de mantener unas condiciones de confort en los recintos habitables de los edificios.

Las diferentes Directivas Europeas, así como la normativa española vigente, fundamenta la eficiencia energética de los edificios en la necesaria e imprescindible presencia de instalaciones de calefacción y/o refrigeración, hasta el punto de que, al día de hoy, resulta imposible obtener una alta calificación energética en edificios cuyo diseño se ha fundamentado en los principios de la arquitectura bioclimática y que, por tanto, pueden llegar a prescindir de sistemas mecánicos de climatización. Esto se debe fundamentalmente a que las normativas europeas, y por ende las nacionales, focalizan el consumo energético en la mayor demanda de calefacción proveniente de los países del norte de Europa, con climas más fríos, respecto a los países de la Europa meridional, con climas más cálidos, donde la ingente demanda de refrigeración supera, en cuanto a consumo energético, a la demanda de calefacción.

En todo caso lo que queda confirmado es la desinterés que se refleja en el marco normativo por aquellas regiones Europeas con climas desérticos cálidos como el de las costas de las Islas Canarias (clima con una temperatura media anual de 18°C en invierno y de 24°C en verano, con variaciones diarias inferiores a los 6°C, con humedad relativa en torno al 75%, con una variación de ± 10%, y una pluviosidad muy baja, y en el que el 70% o más de la precipitación anual se concentra en la estación invernal), donde la demanda de instalaciones de refrigeración puede ser satisfecha, en gran medida, por sistemas de acondicionamiento pasivo.

1.2.- JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

El presente trabajo de investigación se justifica en función de su conveniencia, de su relevancia social e implicaciones prácticas, así como por su valor teórico y utilidad metodológica.

La **conveniencia de la investigación** queda justificada desde el mismo momento en que se asume que los edificios no solo deben adecuarse al clima exterior, sino también que deben garantizar las necesarias condiciones de confort interior de los usuarios, logrando cubrir sus expectativas, percepciones y preferencias de confort térmico, asumiendo que las mismas son muy distintas en función de si el edificio se ventila de forma natural o mediante sistemas mecánicos de climatización.

Uno de los inconvenientes asociados al diseño arquitectónico de edificios se suele centrar en satisfacer las demandas de confort térmico de los usuarios, que varían en función del ambiente térmico donde se desarrollan sus actividades. El arquitecto, como proyectista, se debe enfrentar al reto de establecer un rango de temperaturas operativas capaz de satisfacer un nivel de confort térmico aceptable, en función de las condiciones climáticas exteriores, el acondicionamiento de los recintos habitables del edificio, y de los periodos de ocupación por parte de los usuarios en dichos recintos. Por otro lado, los usuarios, al percibir insatisfacción con el ambiente térmico, reaccionan y tienden a restaurar sus condiciones de confort, y lo hacen cambiando su vestimenta, modificando su actividad, postura, interactuando con su entorno mediante el uso de controles (abertura y cierre de ventanas, persianas, ventiladores, etc...), o simplemente cambiando de lugar, dentro del mismo recinto, hasta encontrar mejores condiciones de confort. Esto último es en lo que se fundamenta el modelo de confort adaptativo (enfoque cualitativo), en contraposición a los enunciados del modelo predictivo de Fanger (enfoque cuantitativo).

En la actualidad, la normativa induce a que en los climas desérticos cálidos, como el de las costas de las Islas Canarias, las necesidades de satisfacer las demandas de confort conlleve, en la mayoría de los casos y como única alternativa, el uso de equipos de refrigeración. El extendido uso de estos equipos, en las épocas más calurosas del año, implica una sobreexposición de los usuarios a ambientes enfriados artificialmente, y ello supone una alteración de las respuestas térmicas (físicas y perceptuales), de las expectativas y preferencias térmicas y, en consecuencia, del rango de temperaturas de confort, además de un alto consumo de energía en el sector residencial.

"En los últimos años se ha observado un aumento del número de instalaciones de aire acondicionado en los países europeos. Esto da lugar a problemas importantes en las horas de máxima carga, aumentando el coste de la electricidad y perturbando el balance energético de esos países. Debe darse prioridad a las estrategias que mejoren el comportamiento térmico de los edificios en el verano" (Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, p. 16).

Por todo ello, el presente trabajo de investigación se orienta hacia el estudio de aquellas estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático que, mediante la aplicación del modelo de confort adaptativo, proporcionen en las edificaciones ubicadas en las costas de las Islas Canarias (clima desértico cálido), las condiciones de confort térmico que permitan alcanzar el estándar de edificios de consumo casi nulo (nZEB).

La relevancia social e implicaciones prácticas se sustentan en el hecho de que este trabajo de investigación ofrecerá nuevas vías encaminadas hacia el ahorro energético, que posibiliten el diseño y construcción de edificios residenciales de alta eficiencia energética. Un diseño arquitectónico basado en estrategias bioclimáticas que, mediante la aplicación del modelo de confort adaptativo, admitirá en el interior de los recintos habitables márgenes de temperaturas operativas superiores a los límites impuestos por el modelo

estático de Fanger, sin la necesidad de recurrir al uso de sistemas mecánicos de climatización.

Todo este proceso pasa por la necesaria implicación de los organismos e instituciones responsables de la regulación de la normativa térmica de las edificaciones, tanto a nivel nacional como regional, que deberán propiciar cambios legislativos que permitan abordar el diseño pasivo de edificios residenciales, que propicien "medidas que eviten el sobrecalentamiento, tales como el sombreado y la suficiente inercia térmica en la construcción de edificios, así como perfeccionar y aplicar técnicas de enfriamiento pasivo, en particular, aquellas que mejoren las condiciones ambientales interiores y creen microclimas en el entorno de los edificios" (Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, p. 16). Además, se deberán emprender las reformas legislativas necesarias para introducir, en el marco normativo nacional, el enfoque de confort cualitativo (modelo adaptativo), de tal forma que se consienta la ampliación del rango de las zonas de confort térmico, en aquellas zonas del Estado que se caracterizan por tener un clima desértico cálido.

Igualmente, se considera que la información obtenida en este trabajo de investigación puede orientar a los usuarios de las edificaciones sobre su comportamiento frente unas determinadas condiciones del ambiente interior, haciéndoles ver que, con tan solo establecer una serie de acciones, puede por sí mismo adecuarse a su ambiente circundante, logrando ese confort térmico deseado. La suposición fundamental del enfoque cualitativo (modelo adaptativo) afirma que si se produce un cambio en el ambiente que provoca incomodidad, la gente reacciona de manera instintiva tratando de restaurar las condiciones de comodidad (Humpreys, Nicol, 1998).

El valor teórico y la utilidad metodológica se fundamentan en los resultados obtenidos en el trabajo de investigación, donde el confort térmico de los recintos habitables, correspondientes a edificios sin sistemas mecánicos de climatización, se evalúa en una situación específica de clima desértico cálido

y donde los usuarios habituales de esos espacios reaccionan, en primera instancia, de manera involuntaria para adaptarse, de forma fisiológica, racional y emocional, a las condiciones del ambiente interior, cuando estas le son adversas; esto por sí mismo constituye un aporte al conocimiento, considerando que este argumento está poco estudiado en el escenario continental, y mucho menos en el nacional y regional.

Desde el punto de vista metodológico, para la estimación de la temperatura operativa, y el rango de temperaturas de confort, se ha adoptado el análisis convencional del Modelo Adaptativo de la Norma Europea EN 15251:2008, cuyos resultados permiten precisar la metodología que más se adecúa a lo investigado, lo cual se constituye en un aporte adicional de este trabajo.

1.3.- OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

Uno de los objetivos de la arquitectura, como función social, ha sido la creación de espacios humanizados, espacios hechos para que el hombre habite, dotándolo de la posibilidad de construir, generar y crear ambientes particulares y distintivos. Un espacio donde se fundamenta la concepción del ser humano como habitante, un espacio antropomorfizado.

Este trabajo de investigación pretende despertar la conciencia de los arquitectos, usuarios y responsables políticos, en la búsqueda de técnicas y procedimientos constructivos que faciliten la proyectación y ejecución, en las costas de las Islas Canarias, de edificios de bajo consumo energético que favorezcan la interacción de los usuarios con el entorno, permitiéndoles alcanzar unas condiciones aceptables de bienestar térmico.

Objetivos generales:

A partir de la implementación de estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático, se intenta alcanzar edificios de alta eficiencia energética (nZEB), destinados al uso residencial vivienda que, mediante la aplicación del modelo de confort adaptativo, permitan satisfacer las condiciones de bienestar térmico de los usuarios, sin necesidad de recurrir a sistemas mecánicos de climatización.

Objetivos específicos:

Evaluar el comportamiento energético de los recintos habitables y demostrar que existen estrategias de diseño pasivo que influyen en el balance térmico de los recintos habitables, en relación al confort térmico de sus ocupantes y, con ello, poder dotar a los arquitectos de recursos proyectuales que le permita abordar con garantías el diseño de edificios nZEB.

Ampliar el campo del conocimiento de la alta eficiencia energética aplicable a edificios residenciales ubicados en regiones con clima desértico cálido, y en especial a aquellos que se localizan en las costas de las Islas Canarias.

Finalmente, y mediante el empleo de la metodología de optimización energética, y su aplicación al diseño arquitectónico de edificios nZEB, se proponen conclusiones relativas a nuevas pautas de diseño que permitan evaluar la optimización de los aspectos proyectuales y constructivos del edificio, para proporcionar al legislador información suficiente que le permita reconsiderar las exigencias normativas en relación al consumo, la demanda y la calificación energética en la zona climática de las costas de las Islas Canarias.

1.3.1.- METODOLOGÍA

El proceso sistemático de elaboración de este trabajo de investigación se condensa en una serie de fases lógicas, coincidentes con la misma estructura que sus capítulos, y que se resumen a continuación:

Investigación Fundamental:

En esta fase se ha recopilado el material bibliográfico concerniente al tema de la arquitectura solar pasiva, el confort térmico adaptativo, la eficiencia energética de edificios, la arquitectura bioclimática y la aplicación de estrategias bioclimáticas. Igualmente, se han recolectado datos recientes sobre variables climatológicas de una ciudad de clima desértico cálido.

Elaboración del Marco Teórico:

Sobre la base de la información obtenida durante el proceso de investigación fundamental, se ha formulado el marco conceptual para organizar las ideas, conceptos y teorías y se han presentado los resultados de la revisión realizada sobre los estudios teóricos relacionados con el problema planteado.

Modelo de simulación numérico:

Para el análisis y evaluación cuantitativa y cualitativa de los factores que intervienen en el acondicionamiento pasivo de un recinto habitable se tomaron como referencia las variables que el usuario puede modificar (comportamiento térmico del edificio) y aquellas que el usuario no puede modificar (condiciones ambientales, orientación, clima, requerimientos de confort establecidos).

Desarrollo de primeras conclusiones y planteamientos:

De acuerdo a los datos obtenidos en la simulación energética, con software específico, su respectivo procesamiento y análisis, se establecieron las

características de comportamiento energético y los requerimientos de cada uno de los recintos. Así mismo, se formularon pautas sobre posibles estrategias bioclimáticas para el diseño de edificios de consumo casi nulo ubicados en clima de las costas de las Islas Canarias.

Conclusiones finales:

En esta parte del trabajo, se elaboraron las conclusiones finales de la investigación y algunas observaciones sobre el tema desarrollado.

1.4.- FUENTES BIBLIOGRÁFICAS

Las principales fuentes bibliográficas empleadas se describen en el apartado de Bibliografía, y tratan de una amplia gama de disciplinas teóricas y aplicadas, destacando las siguientes:

Radiación solar e irradiación infrarroja.

Cerramientos soleados.

Directivas Europeas 2002/91/CE y 2010/31/UE

Código Técnico de la Edificación, Documento Básico HE, Ahorro de Energía. HE 0 - Limitación del consumo energético y HE 1 - Limitación de la demanda energética, versión 2013.

Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, versión consolidada.

Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios.

Edificios nZEB, edificios de energía casi nula.

Clima, ambiente y confort.

Arquitectura solar pasiva.

Arquitectura Bioclimática.

Arquitectura Sustentable

1.5.- Software de cálculo:

Ha sido necesario recurrir a una serie de aplicaciones informáticas, con las que se ha obtenido información esencial para el desarrollo del trabajo de investigación.

Se destacan los siguientes:

Software Solea-2

Software desarrollado por el Dr. Arquitecto D. Manuel Martín Monroy en el año 2000, que facilita el estudio detallado del soleamiento, que, además de calcular la carta solar cilíndrica del recorrido solar para cualquier latitud, permite estimar la intensidad instantánea y la energía solar diaria incidente sobre las principales fachadas y la cubierta, y además sobre un plano con una orientación o inclinación deseada, considerando cualquier día del año y la nubosidad, entre otros parámetros y prestaciones. Admite cálculos en tramos horarios de 15, 30, 60 y 120 minutos, obteniéndose, en cada caso, la carta solar cilíndrica del recorrido solar, permitiendo determinar obstrucciones solares de un plano horizontal. También se puede señalar la altura de un horizonte circular continuo.

Software Dview:

Aplicación para el análisis visual de los ficheros de salida de la simulación energética en base horaria, en cualquier paso de tiempo (por ejemplo, cada hora o sub-hora).

Software Climate Consultant:

Programa desarrollado por el Department of Architecture and Urban Design de la University of California, Los Angeles, Profesor Murray Milne.

Ayuda a comprender los datos climáticos de un determinado lugar, utilizando las 8.760 horas de datos climáticos anuales, en formato EPW (EnergyPlus

Weather Format). Climate Consultant muestra estos datos climáticos primarios en docenas de pantallas gráficas significativas.

El propósito no es simplemente el grafiar los datos climáticos, sino también organizar y representar, de forma sencilla, los atributos del clima y su impacto en las edificaciones. El objetivo es ayudar a los usuarios a crear edificios más sustentables.

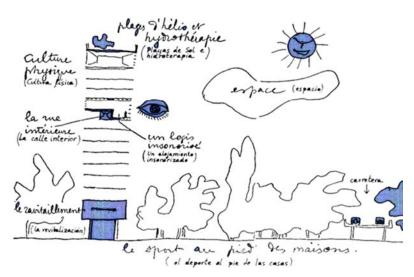
Software DesignBuilder:

DesignBuilder es un software especializado en la simulación ambiental y energética de edificios. Sus avanzadas prestaciones permiten evaluar aspectos como los niveles de confort, los consumos de energía y las emisiones de CO₂, entre muchos otros. Concebido para facilitar los procesos de simulación, ofrece diversas herramientas de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la certificación energética.

Software Energy Plus:

EnergyPlus™ es un programa de simulación térmica y energética de edificios desarrollado por DOE (Department of Energy, Estados Unidos) con el que se pueden hacer estudios de demanda y consumo energético. Lo singular es que este simulador solo posee un sistema de ingreso y salida de datos sin una interfaz gráfica para crear la geometría del edificio e ingresar los datos relevantes de ocupación, iluminación, etc. Es por este motivo que se utilizó DesignBuilder para aprovechar la versatilidad de su interfaz gráfica.

LE CORBUSIER (1.887 - 1.965) UNITÉS D'HABITATION - 1.957 -



Le Corbusier. Unités D'Habitation 1.957. Dibujo

Capítulo 2 – ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.- ESTADO DEL CONOCIMIENTO

2.1.- EL CLIMA DESÉRTICO CÁLIDO

Aunque en ocasiones el termino clima se utilice como sinónimo de tiempo, dichos conceptos no tienen el mismo significado. El tiempo es el conjunto de condiciones atmosféricas imperantes en un determinado lugar e instante. El clima, por el contrario, se refiere al "conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo y en un dominio espacial determinado" (definición establecida por la Organización Mundial de Meteorología [OMM] en su Guía de Prácticas de Climatología).

"El período de tiempo suficientemente largo adoptado por la OMM es de 30 años, período durante el cual se analizan los elementos climáticos, como la temperatura y la precipitación.

El clima de un lugar determinado puede variar en función del intervalo de tiempo utilizado y no es el mismo para un año, una década o un siglo. En la descripción cuantitativa del clima es necesario indicar el período (intervalo de tiempo) al que corresponden los valores numéricos presentados. De hecho, el clima varía con el tiempo y por eso no deben compararse climas utilizando valores correspondientes a intervalos de tiempo con períodos de años diferentes, o correspondientes al mismo número de años, pero en épocas diferentes". (Gobierno de España. MAGRAMA, 2012, p. 15).

La zona climática de proyecto es relevante en cuanto que podría hacer variar el resultado de la simulación, comprometiendo el trabajo de investigación. Al estudiar las posibles localizaciones es fácil deducir que existe más de una solución factible adecuada.

El análisis para determinar las caracterizaciones climáticas típicas para las simulaciones, consta de dos etapas: la macro localización y la micro localización. La macro localización permite acotar el número de soluciones posibles,

determinada la región óptima. La micro localización determina el emplazamiento definitivo, partiendo de la región determinada en la macro localización.

A nivel de la macro localización, y partiendo de un parámetro fijo como el tipo de clima desértico cálido, BWh según la calificación de Köppen-Geiger, se han seleccionado aquellos regiones de la Unión Europea que comparten este tipo de clima.

La actualización del mapa mundial de la clasificación del clima según Köppen-Geiger (Peel, M. C.; Finlayson, B. L.; McMahon, T. A., 2007), asigna al archipiélago de las cicladas meridionales (Grecia) como único clima desértico cálido dentro del territorio Europeo. Dentro de este archipiélago destaca, como clima tipo BWh la isla de Santorini.

World map of Köppen-Geiger climate classification DATA SOURCE : GHCN v2.0 station data Temperature (N = 4,844) and Precipitation (N = 12,396) Csa Cfa Cwa BWk Cfb Dsb Dwb Dfb FF PERIOD OF RECORD : All available BSh Dfc Dsc BSk Dfd Dsd Dwd MIN LENGTH: >30 for each month MELBOURNE Contact: Murray C. Peel (mpeel@unimelb.edu.au) for further information RESOLUTION: 0.1 degree lat/long

Fig. 2.1 - Actualización del mapa mundial de la clasificación climática de Köppen-Geiger. Fuente: Peel, et al. 2007.

En el ámbito de la península ibérica, el clima desértico cálido "se localiza en pequeñas áreas del sureste de la Península Ibérica, en las provincias españolas de Almería, Murcia y Alicante, coincidiendo con los mínimos pluviométricos

peninsulares" (Gobierno de España. MAGRAMA, 2011, p. 16). Sin embargo, la última actualización del mapa mundial de la clasificación del clima según Köppen-Geiger, asigna a estas áreas geográficas un clima desértico frío (BWk).



Fig. 2.2 - Climas cálidos del Sureste de la península Ibérica. BSh, estepario cálido. BSj, estepario templado. BWh, desértico cálido.

Fuente: López, J., López, A. 1987.

A nivel mundial, el tipo de clima más común, según la clasificación Köppen-Geiger, es el desértico cálido (BWh), representando un 14,20 %, de la superficie terrestre. La mayor extensión del clima desértico cálido, dentro de la Unión Europea, se localiza en el Archipiélago Canario. "Es el clima predominante en las islas de Lanzarote y Fuerteventura, extendiéndose por prácticamente toda la superficie de las islas salvo las zonas más altas. También se distribuye ampliamente por la costa de la isla de Gran Canaria, por el sur de las islas de

Tenerife y La Gomera y, en menor medida, en zonas costeras de la isla de El Hierro". (Gobierno de España. MAGRAMA, 2012, p. 16).

A nivel de macro localización, se ha seleccionado el territorio de las Islas Canarias como representativo, a nivel mundial y Europeo, del clima desértico cálido, BWh. En el nivel de micro localización, inicialmente se han seleccionado aquellas poblaciones del Archipiélago Canario con clima soleado (BWh) que tengan una altitud, respecto al nivel del mar, igual o inferior a los 300 m, Zona climática Alfa 3 del DB HE1 del CTE.

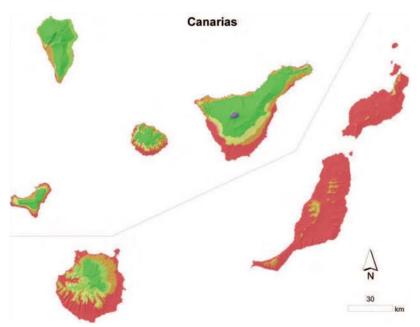


Fig. 2.3 - Clasificación climática de Köppen-Geiger en el Archipiélago Canario. Fuente: Gobierno de España. MAGRAMA, 2012, p. 19.

La clasificación climática formulada por Wladimir Köppen en 1918, sigue siendo una de las clasificaciones más habitualmente empleada en estudios climatológicos en todo el mundo. En ella se definen distintos tipos de clima a partir de los valores medios mensuales de la precipitación y de la temperatura; para la delimitación de los distintos tipos de clima establece umbrales de temperatura y precipitación basados principalmente en su influencia sobre la distribución de la vegetación y la actividad humana.

Dada su antigüedad, a lo largo del tiempo ha experimentado sucesivas modificaciones, algunas de ellas formuladas por el propio W. Köppen junto a otros reputados climatólogos. La más difundida de todas ellas es la conocida como clasificación climática de Köppen-Geiger, cuya última revisión se realizó en el año 1936, aunque en la práctica se acepta la propuesta formulada por "Russel, Trewartha, Critchfield y otros autores (Essenwanger, 2001), en la que la temperatura umbral que separa los tipos templado C y frío D, se utiliza el valor de 0 °C en lugar de los –3 °C de la clasificación original. Este modelo es análogo al empleado en la clasificación actualizada a nivel mundial publicada en 2007 por Peel et al". (Gobierno de España. MAGRAMA, 2012, p. 16).

La delimitación de los climas áridos (tipo B) se realiza definiendo tres umbrales diferentes según el régimen anual de precipitaciones para tener en cuenta que la precipitación invernal es más efectiva para el desarrollo de la vegetación que la estival al ser menor la evaporación:

- P = 20 · (T+7): Precipitación repartida a lo largo del año
- P = 20 · T: Verano seco (el 70% o más de la precipitación anual se concentra en el semestre comprendido entre octubre y marzo)
- P = 20 · (T+14): Invierno seco (el 70% o más de la precipitación anual se concentra en el semestre comprendido entre abril y septiembre)

Donde:

P es la precipitación total anual en mm

T es la temperatura media anual en °C.

En Canarias, Madeira y Azores únicamente se dan los dos primeros casos.

Köppen distingue entre dos subtipos de clima, BS (estepa) y BW (desierto) según la precipitación anual alcance o no la mitad del valor umbral establecido anteriormente para delimitar los clima de tipo B.

A su vez distingue entre las variedades cálida (letra h) y fría (letra k) según la temperatura media anual esté por encima o por debajo de 18 °C respectivamente. (Gobierno de España. MAGRAMA, 2012, p. 16).

El clima desértico cálido tiene lugar en dos fajas de latitudes, aproximadamente entre los 15° y 30 ° norte y sur respecto al Ecuador. El archipiélago Canario se encuentra entre las latitudes 27° y 29° Norte, y se localiza próximo al continente africano. En este sentido, a las zonas costeras de la isla de Gran Canaria les corresponde un clima desértico cálido (BWh), caracterizándose por tener unas temperaturas agradables y muy estables: medias de 18 °C en enero y 24 °C en agosto con variaciones diarias inferiores a 6 °C, resultando relativamente frescas por la influencia marina de la corriente fría de Canarias.

"El régimen de vientos es constante, debido al predominio de los Alisios, y tiene una elevada humedad relativa. Es precisamente la estabilidad atmosférica del Alisio y la proximidad del Desierto del Sahara las que provocan una pluviosidad muy baja y una nubosidad de moderada a baja". (Martín, 2006a, p. 68).

"Sin embargo, el pronunciado relieve de las islas más altas, que en Gran Canaria alcanza una altitud de casi 2.000 m con un radio de sólo 20 Km, produce un elevado contraste climático entre la costa y las cumbres, con una reducción de temperaturas medias entre 7 °C/1.000 m en enero y 3 °C/1000 m en agosto, además de un notable incremento en la variación diaria de temperatura". (Martín, 2006a, p. 68).

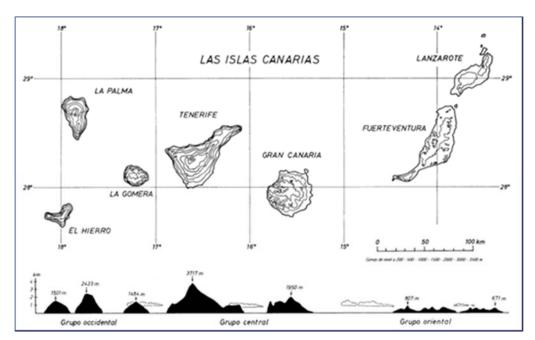


Fig. 2.4 - Mapa de las islas Canarias.

Fuente: Machado, 2002, p. 90.

Es importante destacar el contrate existente entre las vertientes norte y sur de las islas más elevadas, donde las medianías del sur se diferencian por tener unas temperaturas más elevadas, asociadas a una nubosidad muy reducida, generando un clima árido y seco.

2.2.- MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

La evolución experimentada por el ser humano, desde aquella primera etapa en la que necesitaba protegerse de las agresiones climatológicas, de animales o de otros humanos, a una segunda etapa en la que, con el desarrollo de las primeras ideas y herramientas constructivas, le permitieron construir los primitivos hábitats, han favorecido el estudio de las formas de acondicionamiento ambiental empleadas, esas que les permitieron mantener un equilibrio entre el hábitat antropizado y el medio ambiente, ya que se trataba de formas y técnicas pasivas de acondicionamiento y, por tanto, de estrategias no agresivas con la naturaleza.

La evolución tecnológica asociada a la revolución industrial, provocó un cambio en el comportamiento de los seres humanos a la hora de abordar el diseño y

construcción de sus hábitats. Se abandonaron las técnicas tradicionales de construcción equilibrada, basadas en estrategias de diseño pasivo, para asumir la construcción masiva, estandarizada y en serie, en la que la relación arquitectura, clima y lugar se pierde a favor de edificaciones dotadas de sistemas mecánicos de acondicionamiento ambiental, que les permite desarraigarse y deslocalizarse respecto al entorno que las rodea, generando una serie de problemas medioambientales relacionados con el consumo energético, el uso de combustibles procedente de fuentes no renovables y, por ende, aumentando la contaminación ambiental.

"El ser humano, realiza sus actividades en ambientes rodeados de estímulos: higrotérmicos, acústicos, lumínicos u olfativos". "Estos estímulos provocan reacciones placenteras o molestas en el organismo, de tal modo que podremos calificar el ambiente o al factor ambiental del que se recibe el estímulo como confortable o no confortable". (Neila, 2004. p. 177).

Instrumentalizar la arquitectura, como herramienta de diseño del control ambiental de los edificios, exige establecer criterios relativos a la caracterización de los parámetros que determinan el grado de confort percibido por los usuarios, reconociendo que estos son directamente proporcionales al consumo energético de dichos edificios, y que pueden afectar a la salud, productividad y bienestar de sus ocupantes.

El establecimiento de estos criterios obliga a detallar, en las fases previas de proyectación, los criterios que se van a considerar a la hora de definir y caracterizar un determinado ambiente interior, relacionándolos directamente con la demanda energética del mismo, al fin de poder cuantificar su consumo, ya sea en emisiones de CO₂ o en cantidad de energía primaria.

Desde finales de la segunda guerra mundial, y hasta la primera crisis del petróleo de la década de los 70, los sistemas mecánicos de climatización de edificios se impusieron como la única herramienta capaz de garantizar el bienestar térmico de los ocupantes. Debido a ello, los criterios que caracterizan los parámetros de

confort en el interior de los edificios se establecían, fundamentalmente, en base al dimensionamiento de los sistemas de climatización (calefacción, refrigeración y ventilación y ACS). La propagación, a escala mundial, del modelo de edificio climatizado artificialmente, cuyo origen se halla en los Estados Unidos, supuso que durante la década de los sesenta y los setenta, afloraran numerosos estudios centrados en los índices de stress térmico, probablemente derivados de la influencia que tenía la American Society of Heating, Refrigerating, and Air-Conditioning Engineers (ASHRAE).

En Europa, se trabajaba paralelamente con la premisa del "bienestar", destacando la línea de investigación dirigida por el profesor danés Povl Ole Fanger (1934-2006). Los estudios de Fanger se centraron en establecer una relación directa entre los parámetros físicos de un entorno y los parámetros físiológicos de las personas, a fin de determinar la percepción del bienestar expresada por la propia persona.

"Povl Ole Fanger (1934-2006), fue el creador de lo que se denomina el modelo de balance térmico, el cual va unido a los indicadores PMV/PPD. En 1973 Fanger publica los primeros trabajos sobre la influencia de las condiciones climáticas en interiores de edificios sobre el ser humano. Se definen por primera vez los parámetros que influyen en el confort y dos métodos para cuantificar este, PMV (Predictive Mean Vote) voto medio previsto y PPD (Predictive Percentage Dissatisfed) porcentaje previsto de insatisfechos". (Godoy, 2012, p. 10).

El **Porcentaje Previsto de Descontentos (PPD)** es un índice de comodidad que indica un mayor nivel de comodidad cuanto menor sea su valor, aunque en el mejor de los casos no baja del 5% por las diferencias que pueden existir entre personas".

Otro índice de comodidad es el **Voto Medio Previsto (PMV),** que refleja la opinión de un grupo numeroso de personas sobre su sensación térmica, valorada según una escala entre –3 (mucho

frío) y +3 (mucho calor), considerándose el valor 0 como sensación neutra o de bienestar. (Martín, 2006a, p. 50).

Comodidad Térmica en Invierno y Verano (PPD y PMV)

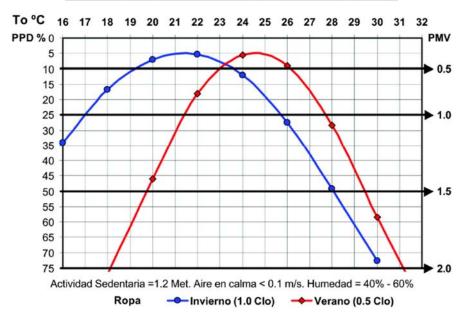


Fig. 2.5 - Relación entre la temperatura operativa To —media de la temperatura del aire y de las superficies del local— y el índice PPD para dos grupos de personas sedentarias (M=1.2 met) en condiciones típicas de invierno (ropa=1 clo) y de verano (ropa=0.5 clo).

Fuente: Martín, 2006a, p. 50.

El modelo ha servido de base a otros procedimientos para la determinación de la temperatura de "diseño" óptima en edificios, como el de la Sociedad Americana de Ingenieros en Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado (Ansi-Ashrae Standard 55, 1992) y el de la Organización de Normas Internacionales (ISO 7730:1995, "Moderate thermal environments— determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for thermal comfort").

Sin embargo, el modelo presenta dos limitantes de importancia. La primera es la restricción explícita de la temperatura de la piel y la pérdida de calor por evaporación en valores para confort y sensación "neutral" en un nivel dado de actividad. La segunda, de

carácter empírico, es que sólo se aplica a humanos expuestos a un largo periodo en condiciones constantes cuyas características pueden ser medidas con exactitud, por ejemplo el aislamiento de la ropa y la tasa metabólica. (Gómez, et al. 2007, p. 48).

La crisis que el enfoque cuantitativo (modelo de confort de Fanger) ha venido experimentando en los últimos tiempos, ha llevado a diferentes investigadores (Auliciems y de Dear, 1986; Brager y de Dear, 1998; de Dear et al, 1993; Nicol y Aulicien, 1994; Nicol y Roaf, 1996; de Dear y Brager, 1998) a reforzar parte de sus planteamientos científicos mediante un enfoque teórico opuesto. Mediante estudios de campo, en los que se establece una relación directa entre la temperatura media exterior y las condiciones de confort térmico interior, estos especialistas han venido a demostrar que, en condiciones reales de funcionamiento, las expectativas de confort de los ocupantes de los edificios ventilados de forma natural (temperatura en flotación libre), difieren de las percibidas por los usuarios de los edificios acondicionados mecánicamente.

Esta metodología implica que se puede relacionar la temperatura operativa del ambiente interior con los elementos climáticos del ambiente exterior, la ubicación concreta donde se localiza el edificio y las estaciones climáticas. En este principio se sustenta el modelo de confort adaptativo, también conocido como escuela de confort cuantitativo.

En el modelo adaptativo se consideran los factores fundamentales de la física y la fisiología interactuando con la percepción térmica. Estos factores pueden incluir aspectos demográficos (sexo, edad, situación económica), el contexto (diseño del edificio, diseño de la envolvente, estación del año, posición social), y las preferencias y expectativas de los ocupantes (McIntyre, 1982, Baker 1993, Baker y Standeven 1994, Oseland 1994a, b, Griffiths et al 1988). La mayoría de los factores nombrados no son considerados en los estudios en la cámara climática desarrollados por la escuela de confort estática (Fanger 1972b, de Dear et al, 1991a). Sin embargo

estos factores no se pueden descartar tan fácilmente en el contexto de los edificios reales".

El término genérico de "adaptación" hace referencia a todos los mecanismos de adaptación fisiológica de aclimatación y a los procesos conductuales y psicológicos que sufren los ocupantes del edificio con el fin de mejorar y ajustar las condiciones ambientales interiores a las necesidades personales o colectivas".

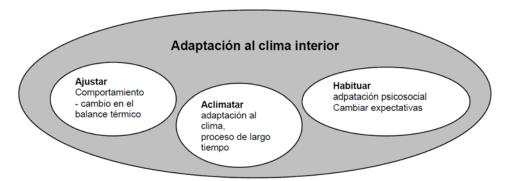


Fig. 2.6 - Los tres componentes de adaptación al clima interior según de Dear, et al, 1997. Fuente: Confort Térmico, 2010, p. 11

Dentro de esta amplia definición, es posible distinguir claramente tres categorías de adaptación (Folk 1974, 1981, Goldsmith 1974, Prosser 1958, Clark y Edholm 1985):

1. Ajuste de Conducta.

Consiste en cómo el organismo administra el equilibrio térmico. Esto incluye todos los cambios que una persona puede hacer, consciente o inconscientemente, que a su vez modifican los flujos (intercambios) de calor y masa entre el cuerpo y el ambiente. Se define el ajuste en términos de tres subcategorías:

a) El ajuste personal: Adaptación al entorno mediante el cambio personal en las variables, tales como el ajuste de la ropa, la actividad, la postura, comer o beber (frío / calor) o el traslado a un lugar diferente.

- b) Ajuste tecnológico o de medio ambiente: La modificación de las condiciones del entorno, cuando se dispone y tiene acceso al control, tales como abrir o cerrar ventanas o persianas, el encendido de ventiladores o de la calefacción, el bloqueo de difusores de aire u otros controles como los sistemas de climatización (Calefacción, Ventilación y Aire acondicionado), etc..
- c) Ajustes culturales: referidos a patrones socio-culturales tales como: siestas, códigos de vestimenta, etc..

2. Adaptación fisiológica:

La definición más completa de la adaptación fisiológica incluye todos los cambios en las respuestas fisiológicas que resultan de la exposición a factores ambientales térmicos y que conducen a una disminución gradual en la tensión inducida por la exposición. La adaptación fisiológica puede desglosarse en dos subcategorías:

- a) Adaptación genética: Son las alteraciones que se han convertido en parte de la genética de una persona o grupo de personas, desarrollada en el tiempo en escalas más allá de la vida de un individuo, y
- b) Aclimatación: cambios en la configuración del sistema de termorregulación fisiológica de un individuo durante un período de días o semanas, en respuesta a la exposición a uno o a una combinación de los factores de estrés térmico ambiental.
- 3. Adaptación Psicológica: La dimensión psicológica de la adaptación al clima interior se refiere a la percepción de las condiciones ambientales interiores y la reacción a la información

sensorial. La percepción térmica está directa y significativamente atenuada por las propias experiencias y expectativas (variables cognitivas y culturales) ante el clima interior. Esta forma de adaptación implica "puntos de ajuste de confort" que puede variar en el tiempo y el espacio. (de Dear, eta al, 1997, p. 4).

Se puede concluir que en el modelo del confort adaptativo la adaptación, la expectativa y la habituación afectan directamente a la sensación térmica y a las evaluaciones cognitivas de aceptabilidad térmica de los usuarios.

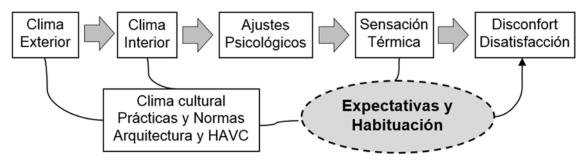


Fig. 2.7 - Mecanismos de ajustes psicológicos.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Fig. 9 de Confort Térmico, 2010, p. 13.

Conceptualmente, en el modelo de confort adaptativo la adaptación, la expectativa y la habituación afectan directamente tanto a la sensación térmica como a las evaluaciones cognitivas de aceptabilidad que experimentan los usuarios. La aceptación de las condiciones de confort en relación al clima interior se consigue mediante una adecuada correlación entre las condiciones ambientales reinantes en ese momento, y las expectativas térmicas que se tengan. Estas relaciones muestran que un determinado conjunto de condiciones ambientales interiores puede provocar diversos niveles de comodidad y la satisfacción de los ocupantes del edificio, en función de la cultura, condiciones climáticas, acondicionamiento mecánico y condicionantes arquitectónicas.

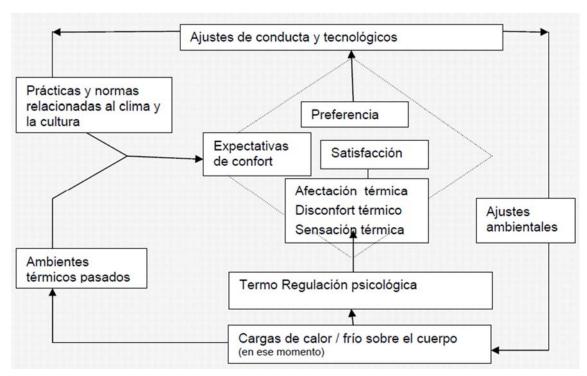


Fig. 2.8 - Modelo de adaptación de la percepción térmica según de Auliciems, 1981.

Fuente: Confort térmico, 2010, p. 14

Los cambios de las condiciones ambientales reinantes en un determinado instante en los edificios ventilados naturalmente, se suelen percibir a través de la temperatura del aire interior y, en base a ella, los ocupantes toman decisiones tendentes a mejorar sus sensaciones de confort mediante su adaptación a estos cambios, como por ejemplo, abrir las ventanas, cambiarse de ropa, etc... El principio que rige el modelo adaptativo se basa en que los usuarios, al percibir cambios en las condiciones ambientales de su entorno, que puedan generarles malestar térmico, reaccionan y toman decisiones tendentes a recuperar la comodidad térmica pérdida.

"El conjunto de acciones de adaptación concebibles en respuesta a sensación de calor o frío, se pueden clasificar en las siguientes cinco categorías (Humphreys, Nicol, 1998, p. 993):

Mediante la regulación de la tasa interna de generación de calor del cuerpo.
 Por ejemplo, aumentando de forma involuntaria, la tensión muscular.

- Regulando la tasa de pérdida de calor del cuerpo. De forma involuntaria mediante la regulación de la vasoconstricción (sudor), o conscientemente, cambiando de ropa, o mediante la ingesta de bebidas calientes o frías.
- Regulando el ambiente térmico. Por medio de la apertura o cierre de ventanas, o empleando ventiladores, chimeneas, etc...
- Seleccionando otro ambiente térmico. Por ejemplo, cambiando de posición dentro de un mismo recinto, buscando lugares más próximos o lejanos a las ventanas, o cambiando de recinto, dentro de una misma viviendo o edificio.
- Modificando las condiciones fisiológicas de confort del cuerpo.

En los últimos tiempos, el modelo de confort adaptativo se ha ido incorporando a las diferentes normativas internacionales, tratando de conciliarlo con el modelo de Fanger, mucho más extendido. Es así como, en el año 2004, la norma ASHRAE adoptó el modelo de confort adaptativo, aceptando que los usuarios pueden controlar algunas condiciones del ambiente y pueden aceptar una gama más amplia de temperaturas, reconociendo el efecto de aclimatación y adaptación en función de las condiciones climáticas exteriores.

La Organización Europea de Normalización (CEN) ha venido desarrollando diferentes normas encaminadas a ayudar a los países a aplicar la Directiva Europea para la Eficiencia Energética de los Edificios (EPBD). Una de estas normativas es la EN 15.251, "Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido", aprobada por CEN el 26 de marzo de 2007. En esta norma se especifica cómo pueden establecerse y utilizarse los criterios de diseño para el dimensionamiento de los sistemas; se define como establecer los principales parámetros para usarse como datos de partida para el cálculo energético del edificio y para la evaluación a largo plazo del ambiente interior. Además, identificará los criterios que se

usarán para monitorizar y mostrar el ambiente interior, según se recomienda en la Directiva relativa a la Eficiencia Energética de los Edificios.

En la norma EN15251, los edificios se agrupan en cuatro categorías. Estas categorías se enumeran en relación al nivel de expectativa de confort de los ocupantes y el tipo de construcción.

Categoría	Explicación
I	Alto nivel de expectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales, como disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos
II	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados
III	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios ya existentes
IV	Valores fuera de los criterios de las categorías anteriores. Esta categoría sólo debería aceptarse durante una parte limitada del año

Fig. 2.9 - Rangos de temperatura operativa aceptable para edificios ventilados naturalmente Fuente: UNE-EN 15251:2007, p. 13.

Sin lugar a dudas, la temperatura es el parámetro más recurrente empleado en la norma para evaluar el ambiente térmico y el confort en edificios con ventilación mecánica y la ventilación natural. Para el cálculo de la temperatura operativa se recurre a dos metodologías de cálculo diferentes, diferenciando a los edificios enfriados y/o calentados mecánicamente de los edificios sin refrigeración mecánica.

En el caso de edificios enfriados y/o calentados mecánicamente, se establece que los criterios para definir el ambiente térmico deben basarse en los índices PMV-PPD de bienestar térmico, con los niveles de actividad y aislamiento térmico de la vestimenta (verano e invierno), según se detallan en la Norma EN ISO 7730.

Se establece un intervalo de temperatura correspondiente al criterio seleccionado (categoría de bienestar). Los valores para el dimensionamiento del sistema de refrigeración son los más altos, mientras que para el sistema de calefacción son los más bajos del rango de bienestar.

Los criterios para el ambiente térmico en edificios sin refrigeración mecánica pueden especificarse utilizando el mismo método que en el caso anterior, en aquellos casos en que en la época invernal, los edificios deban contar con un sistema de calefacción. En la época estival, se puede emplear este mismo método, o bien emplear un segundo método que considere las diferentes expectativas de los ocupantes del edificio y su adaptación a las condiciones de calor. El nivel de adaptación y las expectativas de los usuarios están fuertemente relacionados con las condiciones climáticas exteriores.

En verano, la mayoría de los edificios ventilados naturalmente son autosuficientes, por lo que no es necesario dimensionar un sistema de enfriamiento mecánico y los criterios de las categorías se basan en la temperatura interior. Las temperaturas de verano son principalmente utilizadas para diseñar las disposiciones de los controles térmicos pasivos (por ejemplo protección solar, capacidad térmica del edificio, diseño, orientación y apertura de ventanas, etc.) para evitar el sobrecalentamiento del edificio.

El modelo de confort adaptativo enunciado en la norma, está restringido a edificios ventilados naturalmente, cuyos ocupantes tengan una actividad sedentaria (1 a 1,3 met), oficinas, viviendas, etc..., Los ocupantes deben tener el control sobre los sistemas de acondicionamiento, y sobre las condiciones térmicas del edificio, por lo que resulta esencial que los espacios habitables estén equipados con ventanas operables que se abran al exterior, que sean accesibles y puedan ser fácilmente abiertas y ajustadas por los ocupantes de los espacios. Además, los ocupantes pueden adaptar libremente su vestimenta a las condiciones térmicas exteriores y/o interiores.

Resulta relevante la mención expresa que se hace respecto a que los espacios no deben contar con sistema de enfriamiento mecánico en funcionamiento, aceptándose la ventilación mecánica con aire no acondicionado (en verano), pero la apertura y cerramiento de ventanas debe ser de prioritaria importancia como medio para regular las condiciones térmicas en el espacio. Además puede

haber otros métodos de baja potencia de control personal del ambiente interior tales como ventiladores, persianas, ventilación nocturna etc.

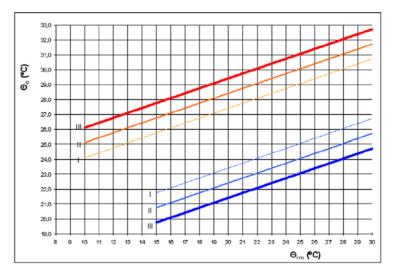


Fig. 2.10 -Valores de diseño de la temperatura operativa interior para edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico, en función de la temperatura exterior media ponderada exponencialmente.
θ_o = Temperatura operativa en °C. θ_{rm} = Temperatura exterior media en °C

Fuente: UNE-EN 15251:2007, p. 26.

Cuando los límites de temperatura adoptados no pueden garantizarse mediante medios pasivos, el enfriamiento mecánico es inevitable. En tales casos deberían usarse los criterios de diseño para los edificios con enfriamiento mecánico.

En relación a los límites de disconfort, cada uno de las categorías se corresponde con un límite diferente. Sin embargo estos valores aparecen en la norma haciendo alusión a edificios climatizados mecánicamente, sin definir si esto excluye a los ventilados naturalmente.

Categoría	Estado térmico del cuerpo como un todo		
	PPD %	Voto medio previsto	
I	< 6	-0,2 < PMV < +0,2	
II	< 10	-0.5 < PMV < +0.5	
III	< 15	-0,7 < PMV < +0,7	
IV	> 15	PMV < -0,7; o +0,7 < PMV	

Fig. 2.11 - Categorías recomendadas para el diseño de los edificios calentados y enfriados mecánicamente.

Fuente: UNE-EN 15251:2007, p. 24.

2.3.- EDIFICIOS nZEB. EDIFICIOS DE ENERGIA CASI NULA

Se hace necesario advertir que el texto al que se hace referencia en el apartado 2.3.1 "Aspectos normativos, relativos a los edificios de energía casi nula", se ha extraído directamente del cuerpo legal de cada una de las normativas que se mencionan, o de fuentes de información directas, evitando interpretaciones por parte del investigador que pudieran desviar el sentido de la investigación.

El orden establecido en el texto se ha escogido en base al interés de la investigación al objeto de mostrar la evolución de la reglamentación oficial.

Debido a ello, y dado el volumen de texto extraído del corpus normativo, se ha evitado realizar citas bibliográficas directamente en los párrafos, advirtiéndose que, lo que a continuación se relata, se ha tomado directamente de las siguientes fuentes de información:

- Europa: Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE)
- Europa: Plan de acción para mejorar la eficacia energética en la Comunidad Europea.
- Europa: Directiva 2002/91/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.
- Europa: Directiva 2006/32/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.
- España: La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4).
- España: Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación.

- España: Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción.
- Europa: Comunicación sobre "Una Política Energética para Europa". (Objetivos 20-20-20).
- Europa: "Un Plan de Acción para una Energía Segura y Solidaria".
- España: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Plan de Acción 2008-2012.
- Europa: Directiva 2009/28/CE relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables.
- Europa: Directiva 2010/31/UE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición).
- España: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020.
- Europa: Directiva 2012/27/UE del Parlamento europeo y del Consejo de de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.
- España: Orden FOM/1635/2013, el 10 de septiembre de 2013, se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía», del Código Técnico de la Edificación".
- España: Real Decreto 235/2013, por el que se aprueba el Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios.

Se han consultado, fundamentalmente, las siguientes fuentes de información:

Europa:

http://eur-lex.europa.eu/homepage.html

España:

http://www.idae.es/index.php/idpag.89/relcategoria.1154/relmenu.11/mod.pags/mem.detalle

https://www.agenciaandaluzadelaenergia.es/ciudadania/energiaandalucia/planificacion-energetica/politica-europea-nacional

2.3.1.-Aspectos normativos.

Las políticas energéticas en el ámbito de la Unión Europea (UE) se han centrado, en las últimas décadas, en promover el ahorro y la eficiencia energética en el sector de la edificación, con la finalidad de disminuir la dependencia energética de terceros países, reducir las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y fomentar el uso de energías renovables.

Con la aprobación, en septiembre 1993, de la **Directiva 93/76/CEE**, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). A pesar de que en la actualidad, esta Directiva ha sido derogada y sustituida por la Directiva 2006/32/CE, en su momento obligó a los Estados miembros a establecer medidas orientadas al control del consumo energético de los edificios de uso residencial, limitando las emisiones de CO₂, mediante la mejora de la eficiencia energética, y en particular, mediante el establecimiento y la aplicación de programas en los siguientes ámbitos:

- La certificación energética de los edificios.
- La facturación de los gastos de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria (ACS), en función del consumo real.
- La financiación por terceros de las inversiones en eficacia energética en el sector público.
- El aislamiento térmico de los edificios nuevos.
- La inspección periódica de las calderas.
- Las auditorías energéticas en las empresas de elevado consumo de energía.

En abril del año 2000, La Comisión presenta al Consejo y al parlamento Europeo, el "Plan de acción para mejorar la eficacia energética en la Comunidad Europea", cuyo objetivo es reducir el consumo de energía mejorando la eficacia energética, con el fin de proteger el medio ambiente, reforzar la seguridad del abastecimiento de energía y crear una política energética más sostenible.

El incremento de la eficacia energética resulta esencial para el logro de los objetivos señalados por el Protocolo de Kioto, propicia una política energética más sostenible y constituye un elemento importante de la seguridad del abastecimiento de la Comunidad Europea. Mejorando la eficacia energética es posible disminuir el consumo energético de la Comunidad Europea en un 18 % con relación a la situación existen en ese momento. El plan de acción propone el objetivo de una disminución del 1 % anual hasta 2010, esto significa que en dicha fecha deberían alcanzarse los dos tercios del objetivo global.

Con el fin de lograr este objetivo global, la Comisión estableció unos objetivos particulares que preveían desarrollar acciones en el ámbito de la política energética y el medio ambiente, así como adoptar medidas que garantizaran la mejora de la eficacia energética a largo plazo aprovechando los mercados y las nuevas tecnologías.

Con respecto al sector de la construcción, el plan de acción proponía la modificación de la Directiva 93/76/CEE sobre la certificación energética de edificios. La Comisión propuso en mayo de 2001 una propuesta de Directiva complementaria sobre el rendimiento energético de los edificios. Las directivas sobre calderas (92/42/CEE) y sobre materiales de construcción (89/106/CEE) figuran también entre las acciones principales en este sector y en septiembre de 2000 se adoptó una Directiva relativa a la eficacia energética para el alumbrado.

En diciembre 2002 se aprueba la **Directiva 2002/91/CE**, cuyo objetivo es el de fomentar, en el ámbito de la Comunidad, la eficiencia energética de los edificios, teniendo en consideración tanto las condiciones climáticas exteriores como las

particularidades locales, así como los requisitos ambientales interiores y la relación coste-eficacia. En esta Directiva se establecen los requisitos mínimos en relación a:

- El marco general de una metodología de cálculo de la eficiencia energética integrada de los edificios.
- La aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios nuevos
- La aplicación de requisitos mínimos de eficiencia energética de grandes edificios existentes que sean objeto de reformas importantes
- La certificación energética de edificios.
- La inspección periódica de calderas y sistemas de aire acondicionado de edificios y, además, la evaluación del estado de la instalación de calefacción con calderas de más de 15 años.

Estos requisitos deben ser diferenciados, por los Estados miembros, entre edificios nuevos y edificios existentes, así como entre diferentes categorías de edificios. El método de cálculo puede ser diferente a escala nacional o regional, y debería incluir al menos los siguientes aspectos:

- Características térmicas del edificio (cerramientos exteriores e internos, etc.).
 Estas características podrán incluir asimismo la estanqueidad del aire.
- Instalación de calefacción y de agua caliente, y sus características de aislamiento.
- Instalación de aire acondicionado.
- Ventilación.
- Instalación de iluminación artificial (especialmente en la parte no residencial).
- Disposición y orientación de los edificios, incluidas las condiciones climáticas exteriores.
- Sistemas solares pasivos y protección solar

- Ventilación natural
- Las condiciones ambientales interiores, incluidas las condiciones ambientales interiores proyectadas.

Cuando resulten pertinentes, en la metodología de cálculo se podrá considerar la incidencia positiva de sistemas basados en fuentes de energías, electricidad producida por cogeneración, sistemas de calefacción y refrigeración central o urbana (District heating and cooling) e iluminación natural.

En la consideración número 18 de esta Directiva, se recoge la inquietud generada por el aumento del número de sistemas de aire acondicionado en los países europeos meridionales, con el consiguiente aumento, en las horas punta, del consumo de electricidad, que comporta un impacto directo sobre el aumento en el precio de la electricidad, y el deterioro en el balance de energía. Para resolver este problema, la Directiva establece como prioridad las estrategias de eficiencia energética en la temporada de verano, fomentando el desarrollo de técnicas de enfriamiento pasivo, fundamentalmente las que mejoran las condiciones ambientales interiores y el microclima alrededor de los edificios.

Con la publicación de la **Directiva 2006/32/CE**, la Comunidad Europea adopta el marco relativo a la eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos. Incluye un objetivo de ahorro de energía para los Estados miembros, obligaciones para las autoridades públicas en materia de ahorro de energía y de contratación con criterios de eficiencia energética, así como medidas de promoción de eficiencia y servicios energéticos. Esta Directiva deroga a la Directiva 93/76/CEE.

Los Estados miembros deben fijar y cumplir un objetivo orientativo de ahorro de energía de un 9 % de aquí al año 2016, en el contexto de un Plan Nacional de Acción para la Eficiencia Energética (PNAEE). Dicho objetivo se establece y se calcula en función del método indicado en el anexo I de la Directiva.

Por otra parte, deben nombrar a una o varias autoridades u organismos independientes del sector público existentes o nuevos para que se encarguen

del control general y sean responsables de la vigilancia de las normas generales para alcanzar esos objetivos.

El 28 de noviembre de 2003, el gobierno de España aprueba el documento titulado "La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4)", en el que se propone, para cada uno de los principales sectores involucrados, una serie de medidas que deben establecerse durante el período 2004-2012 para lograr mejoras sustanciales en los índices de eficiencia energética.

En junio de 2005, y dentro de "La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4)", el Gobierno español aprueba el Plan de Acción 2005-2007, en el que se concretan plazos, recursos y responsabilidades, evaluando finalmente los impactos globales derivados de estas actuaciones. (Gobierno de España. Ministerio de Economía. 2003, pg 4).

Sobre la base del análisis desarrollado en la "Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4)", y manteniendo la misma división sectorial que en él, en el Plan de Acción 2005-2007 se trata de establecer un programa de actuaciones específico, aunque complejo al mismo tiempo por la diversidad de medidas contempladas (económicas, normativas o de promoción), y orientado a salvar lo que globalmente puede calificarse como principal frente de barreras existentes: aquellas caracterizadas por ser muy relevantes para la puesta en marcha y desarrollo inicial de la E4 y requerir un esfuerzo relativamente pequeño en términos de recursos aplicados.

Los principales objetivos de este Plan de Acción se resumen en los siguientes puntos:

 Concretar las medidas y los instrumentos necesarios para el lanzamiento de la Estrategia en cada sector.

- Definir líneas concretas de responsabilidad y colaboración entre los organismos involucrados en su desarrollo, especificando presupuestos y costes públicos asociados.
- 3. Planificar la puesta en marcha de las medidas, identificando las actuaciones prioritarias y el ritmo de puesta en práctica.
- 4. Evaluar los ahorros de energía asociados, los costes y las emisiones de CO₂ evitadas para cada medida y para todo el Plan en su conjunto.

Con los objetivos de mejorar la calidad de la edificación, y de promover la innovación y la sostenibilidad, el 28 de marzo de 2006 se publica, en el Boletín Oficial del Estado, el **Real Decreto 314/2006**, de 17 de marzo, por el que se aprueba el **Código Técnico de la Edificación**.

Esta nueva normativa contribuye de manera decisiva al desarrollo de las políticas del Gobierno de España en materia de sostenibilidad, en particular del Plan de Acción de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética, y se convierte en instrumento de compromisos de largo alcance del Gobierno en materia medioambiental, como son el Protocolo de Kyoto o la Estrategia de Göteborg.

El Código Técnico de la Edificación (CTE) da cumplimiento a los requisitos básicos de la edificación establecidos en la Ley 38/1999, de 5 de noviembre, de Ordenación de la Edificación, con el fin de garantizar la seguridad de las personas, el bienestar de la sociedad, la sostenibilidad de la edificación y la protección del medio ambiente.

La aprobación del Código Técnico de la Edificación supone, por un lado, la superación y modernización del vigente marco normativo de la edificación en España, regulado por el Real Decreto 1650/1977, de 10 de junio, sobre normativa de la edificación, que estableció las Normas Básicas de la Edificación, como disposiciones de obligado cumplimiento en el proyecto y la ejecución de los edificios.

Por otro lado, el CTE crea un marco normativo homologable al existente en los países más avanzados y armoniza la reglamentación nacional existente en la edificación con las disposiciones de la Unión Europea vigentes en esta materia. En primer lugar, con las relativas a la libre circulación de productos de construcción dentro del mercado único europeo y, principalmente, con la Directiva 89/106/CEE del Consejo, de 21 de diciembre, relativa a la aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los Estados Miembros sobre los productos de construcción. En segundo lugar ha de considerarse la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre, relativa a la eficiencia energética de los edificios, en lo que se refiere a los requisitos mínimos de eficiencia energética que estos deben cumplir a través de las mejoras en la envolvente, en las instalaciones térmicas e instalaciones de iluminación. En virtud de ello, se han incorporado al Código Técnico de la Edificación las exigencias relativas a los requisitos de eficiencia energética de los edificios, que se establecen en los artículos 4, 5 y 6 de esta Directiva.

En el CTE se plantea un enfoque orientado hacia exigencias básicas, en línea con el adoptado en el ámbito de la Unión Europea por la Resolución del Consejo, de 5 de mayo de 1985, del "nuevo enfoque" en materia de reglamentación técnica. Por ello, el CTE se alinea con el denominado "enfoque basado en prestaciones", propugnado por las principales Organizaciones Internacionales relacionadas con códigos de edificación, tales como el Consejo Internacional de la Edificación, o el Comité Interjurisdiccional de Colaboración Reglamentaria, ambos inspiradores de los códigos de países avanzados.

El CTE se divide en dos partes, ambas de carácter reglamentario. En la primera se contienen las disposiciones de carácter general (ámbito de aplicación, estructura, clasificación de usos, etc...) y las exigencias que deben cumplir los edificios para satisfacer los requisitos de seguridad y habitabilidad de la edificación.

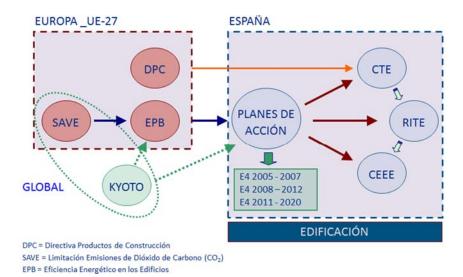


Fig. 2.12 - Esquema de transposición de Directivas Europeas a las Normativas Españolas.

Fuente: Elaboración propia.

La segunda parte está constituida por los Documentos Básicos cuya adecuada utilización garantiza el cumplimiento de las exigencias básicas. En los mismos se contienen procedimientos, reglas técnicas y ejemplos de soluciones que permiten determinar si el edificio cumple con los niveles de prestación establecidos. Dichos Documentos no tienen carácter excluyente. Como complemento para la aplicación del Código se crean los Documentos Reconocidos como aquellos documentos técnicos externos e independientes del Código cuya utilización facilita el cumplimiento de determinadas exigencias y contribuyen al fomento de la calidad de la edificación.

Con la publicación del **Real Decreto 47/2007**, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de **eficiencia energética de edificios** de nueva construcción, el Gobierno de España da respuesta a las exigencias establecidas en la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios, en relación a la obligación de poner a disposición de los compradores o usuarios de los edificios un certificado de eficiencia energética.

El objetivo principal de este Real Decreto consiste en establecer el Procedimiento básico que debe cumplir la metodología de cálculo de la

calificación de eficiencia energética, con el que se inicia el proceso de certificación, considerando aquellos factores que más incidencia tienen en el consumo de energía de los edificios de nueva construcción o que se modifiquen, reformen o rehabiliten en una extensión determinada. También se establecen en el mismo las condiciones técnicas y administrativas para las certificaciones de eficiencia energética de los proyectos y de los edificios terminados.

Con el fin de facilitar la interpretación, por parte de los consumidores, del certificado de eficiencia energética, se aprueba un distintivo común en todo el territorio nacional denominado etiqueta de eficiencia energética, garantizando, en todo caso, las especificidades que sean precisas en las distintas comunidades autónomas. En el caso de los edificios ocupados por autoridades públicas o instituciones que presten servicios públicos a un número importante de personas y que sean frecuentados habitualmente por ellas, será obligatoria la exhibición de este distintivo de forma destacada.

En cuanto a los anexos del Procedimiento básico, el primero de ellos contiene las especificaciones técnicas de la metodología de cálculo de la calificación de eficiencia energética, donde se particularizan las características y alcance de los métodos informáticos que podrán utilizarse para el cálculo de las calificaciones de eficiencia energética, y que se hacen necesarios en la mayoría de los casos para llevar a cabo los complejos cálculos con fiabilidad suficiente.

Además, este Real Decreto transpone parcialmente la Directiva 2002/91/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 16 de diciembre de 2002, relativa a la eficiencia energética de los edificios.

Ese mismo mes, la Comisión Europea presentó su Comunicación sobre "Una Política Energética para Europa", en la que para atender al triple reto de la sostenibilidad, competitividad y seguridad de suministro, se identificaban unos objetivos sobre reducción de emisiones, aporte de renovables y eficiencia energética para el año 2020 (20%-20%-20%). Esta comunicación, conocida como 1ª Revisión Estratégica de la Energía, incluía un plan de acción en el que

se identificaban una serie de áreas con propuestas para poder alcanzar los objetivos mencionados.

En marzo de ese mismo año, el Consejo Europeo adopta el Plan de acción global en el ámbito de la energía para el período 2007-2009, sobre la base de la Comunicación de la Comisión "Una política energética para Europa ".

Dicho plan, conocido como 20-20-20, define objetivos comunitarios en seguridad de abastecimiento, mercado interior de la energía, eficiencia energética, energías renovables, relaciones internacionales y tecnologías energéticas. Entre estos objetivos se encuentran:

- Reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero en un 20% respecto de 1990, hasta el año 2020. Con un compromiso bajo acuerdo internacional de elevar el objetivo hasta el 30%.
- Aumentar la eficiencia energética con el fin de ahorrar un 20% del consumo energético de la UE respecto de las proyecciones para el año 2020.
- Alcanzar el 20% de renovables en el consumo energético total de la UE de aquí a 2020.
- Elevar, como mínimo, al 10% el porcentaje representado por los biocarburantes en el consumo total de gasolina y gasóleo destinados al transporte en la UE de aguí a 2020.



Fig 2.13 - Plan de acción global en el ámbito de la energía para el período 2007-2009. Objetivos 20-20-20. Fuente: ENERGY EFFICIENCY IN EUROPE. Overview of policies and good practices, p. 6.

De acuerdo con la petición del Consejo en marzo de 2007, la Comisión presenta en noviembre de 2008 las propuestas para la Segunda Revisión Estratégica del sector de la energía, "Un Plan de Acción para una Energía Segura y Solidaria". La Primera Revisión Estratégica de enero de 2007 se centró fundamentalmente en los aspectos de competitividad y sostenibilidad; en esta segunda revisión, la seguridad es el eje de actuación. Además, en respuesta al Consejo Europeo de octubre de 2008, se presenta un Nuevo Plan de Acción para la seguridad y solidaridad energética.

En el marco del Plan Estratégico Europeo de Tecnología Energética, la Comisión elaborará un plan de trabajo de la política energética para el año 2050, con las medidas que deban adoptarse para su aplicación a gran escala cuando esta esté justificada. En particular, se establecerán las medidas necesarias para garantizar un abastecimiento de electricidad sin emisión de carbono en la Unión Europea de aquí a 2050.

El 17 de julio de 2007, y dentro de "La Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4)", el Gobierno español aprueba el Plan de Acción 2008-2012, que se focaliza hacia los sectores menos visibles, denominados difusos (principalmente transporte y edificación), y en los que se requieren nuevos instrumentos orientados a un público objetivo muy atomizado y con patrones de comportamiento muy diversos.

Gracias a la experiencia adquirida con los Planes de Acción anteriores, en este nuevo Plan se ha introducido un esfuerzo adicional, fundamentalmente económico y normativo, en respuesta a la Estrategia Española de Cambio Climático y Energía Limpia que persigue el cumplimiento español del protocolo de Kyoto, y en la que la E4 representa un instrumento activo y fundamental de ella. Por ello, el nuevo plan se le denomina Plan de Acción de la E4 Plus (PA E4⁺), pues representa un reto adicional especialmente en los sectores difusos. En paralelo con esas Estrategias nacionales, la UE ha ido diseñando políticas en esa misma dirección. Así, la Directiva 2006/32/EC, sobre eficiencia en el uso final de la energía y los servicios energéticos,

define un marco de esfuerzo común para conseguir un ahorro de un 9% en el año 2016.

El PA E4⁺ se integrará en el Plan de Acción de Eficiencia Energética a nivel comunitario, contribuyendo con ello a dar repuesta a España, no sólo a la consecución de este compromiso, sino también al objetivo mucho más ambicioso, incluido en la decisión del Consejo europeo del 9 de marzo de 2007 de alcanzar niveles de ahorro del 20 % sobre los tendenciales en el horizonte del 2020.

En abril de 2009, surge la **Directiva 2009/28/CE** relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables. En esta Directiva se fijan objetivos nacionales obligatorios para la cuota de energía procedente de fuentes renovables en el consumo final bruto de energía en el año 2020. Para alcanzar este objetivo se marca una trayectoria indicativa de forma que en 2011-2012 se haya alcanzado el 20% del objetivo, el 30% en 2015-2016 y el 65% del total en el período 2017-2018.

La Directiva establece la obligación a los Estados miembros de elaborar un Plan de Acción Nacional, que contenga los instrumentos adecuados para alcanzar estos objetivos. Asimismo, cuenta con mecanismos de flexibilidad que, respetando los sistemas nacionales de apoyo a las renovables, permiten alcanzar el objetivo de renovables de forma eficiente a través de transferencias estadísticas, acuerdos para desarrollar proyectos renovables o coordinación de sistemas de apoyo a renovables.

El 19 de mayo 2010 se publica la **Directiva 2010/31/UE**, que es la que, con relación a la eficiencia energética de los edificios, se encuentra actualmente en vigor. Esta Directiva tiene por objeto promover la eficiencia energética de los edificios, clarificando y reforzando las disposiciones de la Directiva 2002/91/CE, a la cual deroga, para ampliar su ámbito de aplicación y reducir las diferencias considerables entre Estados miembros en cuanto a eficiencia energética de los edificios.

Sus disposiciones regulan la energía necesaria para la calefacción de las instalaciones, el calentamiento del agua, la refrigeración, la ventilación y la iluminación para los edificios nuevos y existentes, tanto residenciales como no residenciales.

Los Estados miembros tienen la obligación de adoptar, a nivel nacional o regional, una metodología de cálculo de la eficiencia energética de los edificios que tenga en cuenta determinados elementos, tales como:

- Las características térmicas del edificio (capacidad térmica, aislamiento, etc.).
- La instalación de calefacción y de agua caliente.
- Las instalaciones de aire acondicionado.
- La instalación de iluminación incorporada.
- Las condiciones ambientales interiores.

La influencia positiva de otros elementos como la exposición solar local, la iluminación natural, la producción eléctrica por cogeneración y los sistemas de calefacción y refrigeración, urbanos o colectivos, también se tendrán en cuenta.

Los Estados miembros tienen la obligación de establecer, con arreglo a la metodología de cálculo anteriormente citada, requisitos mínimos en materia de eficiencia energética para alcanzar niveles óptimos en términos de costes. El nivel de estos requisitos se revisa cada cinco años.

Cuando fijan los requisitos mínimos, los Estados miembros pueden hacer una distinción entre edificios nuevos y edificios existentes y entre diferentes categorías de edificios.

Los **edificios nuevos** deben respetar estas exigencias y ser objeto de un estudio de viabilidad relativo a la instalación de sistemas de abastecimiento de energías renovables, bombas de calor, sistemas de calefacción y refrigeración urbano o colectivo y sistemas de cogeneración antes del inicio de su construcción.

Los **edificios existentes**, cuando son objeto de trabajos de renovación importantes, deben beneficiarse de una mejora de su eficiencia energética de tal forma que pueda satisfacer igualmente los requisitos mínimos.

Quedan excluidos de la aplicación de los requisitos mínimos:

- Los edificios protegidos oficialmente (por ejemplo, edificios históricos).
- Los edificios utilizados como lugares de culto.
- Las construcciones provisionales.
- Los edificios residenciales destinados a una duración de uso anual limitada.
- Los edificios independientes de una superficie útil total inferior a 50 m².

Los Estados miembros adoptarán las medidas necesarias para garantizar que, cuando se proceda a la sustitución o mejora de los elementos de un edificio que integren la envolvente del edificio y que repercutan de manera significativa en la eficiencia energética de dicha envolvente (por ejemplo, marcos de ventana), se fijen unos requisitos mínimos de eficiencia energética para ellos, con el fin de alcanzar unos niveles óptimos de rentabilidad.

A partir del 31 de diciembre de 2020, todos los edificios nuevos deben tener un consumo de energía casi nulo (nZEB). Los nuevos edificios que estén ocupados y que sean propiedad de las autoridades públicas deben cumplir los mismos criterios después del 31 de diciembre de 2018.

El 29 de julio de 2011, el consejo de Ministros del Gobierno de España, un nuevo **Plan de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020**, dando cumplimiento a lo exigido por la Directiva 2006/32/CE, del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de abril de 2006, sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos.

Este **Plan de Acción 2011-2020** constituye el segundo Plan Nacional de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética (NEEAP1), y da continuidad a los planes de

ahorro y eficiencia energética anteriormente aprobados por el Gobierno español en el marco de la Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4), aprobada en noviembre de 2003.

Los planes de acción anteriores, aprobados en el marco de la E4, han sido objeto de análisis y evaluación, de acuerdo con las recomendaciones sobre métodos de verificación y medida de los ahorros elaboradas por la Comisión Europea.

En este nuevo Plan de Acción 2011-2020, tanto el cálculo de los ahorros alcanzados hasta 2010, como la propuesta de objetivos para 2016 y 2020 se han realizado en términos de energía final y primaria. A pesar de que la Directiva 2006/32/CE sólo obliga a reportar en términos de energía final y para los sectores expresamente incluidos dentro de su ámbito de aplicación, este Plan incluye ahorros de energía final y primaria en la medida en que forma parte de una estrategia energética integrada de oferta y demanda, que considera también unos objetivos de promoción de las energías renovables y de unas tecnologías de transformación más eficientes.

Los ahorros de energía final y primaria estimados en este documento son, por tanto, coherentes con los escenarios de consumo de energía final y primaria incorporados en la planificación energética indicativa prevista en el artículo 79 de la Ley 2/2011 de Economía Sostenible y en otros instrumentos de planificación en materia de energías renovables (de acuerdo con las obligaciones que se derivan de la Directiva 2009/28/CE, de 23 de abril de 2009, relativa al fomento del uso de energía procedente de fuentes renovables). De esta forma, la planificación en materia energética constituye un conjunto coherente, conducente al objetivo de mejora de la intensidad final de un 2% interanual para el período 2010-2020.

En octubre de 2012, se aprueba la **Directiva 2012/27/UE** del Parlamento Europeo y del Consejo, relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE (Texto pertinente a efectos del EEE).

El propósito de esta Directiva es alcanzar el objetivo de eficiencia energética del 20 % de la UE en 2020 en comparación con los niveles de 1990 y preparar el camino para realizar más mejoras en la eficiencia energética después de esa fecha. Incluye el requisito de que todos los Estados miembros establezcan objetivos nacionales significativos de eficiencia energética para 2020.

Dicha Directiva fomenta la eficiencia energética en toda la UE a través de un marco común de medidas que abarcan todas las etapas de la cadena energética, desde la transformación y la distribución de energía hasta su consumo final. Algunas de las medidas, basadas en las del plan de eficiencia energética 2011, son de cumplimiento obligado.

Los Estados miembros tienen de plazo hasta mediados de 2014 para incorporar la mayoría de las cláusulas de la Directiva a la ley nacional. Deben establecer especialmente unos objetivos nacionales significativos de eficiencia energética hasta el 30 de abril de 2013. La Comisión Europea los revisará en junio de 2014 y deben calcularse haciendo referencia a los llamados límites energéticos primarios o finales que la UE ya estableció para el año 2020.

Además, cada Estado miembro debe establecer un esquema de obligaciones de eficiencia energética o aportar opciones equivalentes. La finalidad es garantizar que los proveedores de energía alcancen un objetivo de ahorro energético acumulado de uso final del 1,5 % a finales de 2020. Estos ahorros solo se tendrán en cuenta si son verdaderamente novedosos y adicionales para los consumidores finales, cada año desde el 1 de enero de 2014 hasta finales de 2020.

La Directiva conmina a los organismos públicos de todos los niveles a representar un papel ejemplar en eficiencia energética, ya que cuentan con un gran potencial para estimular la transformación del mercado hacia productos, edificios y servicios más eficientes. Por lo tanto, cada Estado miembro debe garantizar la renovación anual del 3 % del espacio total de suelo de los edificios

con calefacción y/o refrigeración propiedad del gobierno central, teniendo en cuenta las obligaciones existentes que se indican en la Directiva 2010/31/UE.

Los Estados miembros deben establecer una estrategia a largo plazo para la financiación de la renovación de edificios públicos y privados. También deben evaluar en profundidad el ahorro energético que se podría obtener gracias al uso de cogeneración de alta eficiencia y al calentamiento y refrigeración eficientes de la zona.

Otras cláusulas de la Directiva definen ayudas para todo ello, desde auditorías energéticas y mediciones hasta la facturación del cliente y ayuda para pequeñas y medianas empresas (PYME).

La Directiva contribuye a los esfuerzos de la UE para reducir la dependencia de la importación de energía y de los escasos recursos energéticos, mientras aborda el cambio climático reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero de un modo rentable. Además, acelera la propagación de soluciones tecnológicas innovadoras y mejora la competitividad de la industria de la UE. Esto impulsará el crecimiento económico y creará empleos de alta calidad, en cumplimiento con la Estrategia Europa 2020.

Con la publicación de la **Orden FOM/1635/2013**, el 10 de septiembre de 2013, **se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía"**, del Código Técnico de la Edificación", aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, y se transpone parcialmente, al ordenamiento jurídico español, la Directiva 2010/31/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 19 de mayo de 2010, en lo relativo a los requisitos de eficiencia energética de los edificios, establecidos en sus artículos 3, 4, 5, 6 y 7, así como la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo de 23 de abril de 2009, en lo relativo a la exigencia de niveles mínimos de energía procedente de fuentes renovables en los edificios, establecida en su artículo 13.

La obligación de los Estados miembros de cumplir con las exigencias recogidas en la nueva Directiva 2010/31/UE, no solo en lo relativo a la obligatoriedad de

fijar unos requisitos mínimos de eficiencia energética de los edificios o partes de ellos, sino también con la obligatoriedad de que, antes del 31 de diciembre de 2020, todos los nuevos edificios tengan un consumo de energía casi nulo, hace necesario que, por parte de los legisladores españoles, se establezca una definición de ámbito nacional del referido concepto de "edificio de consumo de energía casi nulo", determinándose el correspondiente nivel de eficiencia energética así como el porcentaje de la energía requerida que deberá estar cubierta por energía procedente de fuentes renovables.

En este sentido, la actualización del Documento Básico de Ahorro de Energía, DB-HE, y las exigencias que en el mismo se establecen, constituyen la primera fase de aproximación hacia ese objetivo de conseguir "edificios de consumo de energía casi nulo" antes de las fechas citadas, que deberá continuarse en un corto plazo con nuevas exigencias más estrictas, que se habrán de aprobarse de forma reglamentaria antes de que se alcancen las citadas fechas.

Limitar el consumo energético en los edificios, y fomentar el empleo de energía procedente de fuentes renovables, junto con el ahorro energético y una mayor eficiencia energética, constituyen las medidas necesarias para cumplir con los objetivos nacionales sobre energía y cambio climático, a la vez de satisfacer los compromisos internacionales, en especial con el paquete de medidas recogidos en el denominado objetivo 20-20-20, enunciados por el Consejo Europeo en marzo de 2007. Estas medidas servirán, por un lado para disminuir la dependencia energética de España de terceros países y, por otro lado, para avanzar en el cumplimiento del Protocolo de Kioto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero.

Una de las principales razones por la que se actualiza el DB HE en el año 2013, es la de potenciar 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, y

supone una aproximación normativa al objetivo de alcanzar, a corto plazo, la construcción de edificios de consumo de energía casi nulo (nZEB).

A continuación se exponen los principales objetivos del nuevo Documento Básico HE, extractados del documento divulgativo "Una norma para el ahorro energético y la mejora de la eficiencia energética de los edificios", publicado por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo, perteneciente al Ministerio de Fomento:

• Profundizar en una normativa más prestacional:

El nuevo DB HE 2013 profundiza en el modelo prestacional del CTE, ya que emplea indicadores globales representativos de la eficiencia energética de los edificios. Se incluye una exigencia limitadora del consumo de energía primaria no renovable en el caso de edificios nuevos y ampliaciones, en línea con lo establecido en la Directiva 2010/31/UE, que requiere que la definición del "edificio de consumo de energía casi nulo" incluya un indicador numérico de uso de energía primaria expresado en kWh/m² al año.

Esta exigencia relativa al consumo se desarrolla en una nueva sección denominada HE 0, definida de esta forma como exigencia 'cero', pues tiene carácter global y está relacionada con el resto de exigencias, que la complementan para evitar aquellas situaciones en las que aun pudiendo cumplirse la exigencia de consumo resulten muy descompensadas.

De esta manera, los edificios nuevos y las ampliaciones de existentes, además de tener un consumo de energía primaria no renovable reducido, deben cumplir con otro conjunto de exigencias, como son tener una demanda energética también acotada en su máximo, unas instalaciones de iluminación con eficiencia energética mínima determinada, una potencia máxima instalada en iluminación en función de uso y unos aportes de energías renovables mínimos. Conviene destacar por tanto la complementariedad de las exigencias de demanda y consumo.

La consecución de edificios de alta eficiencia energética, tal como predica la citada Directiva debe pasar necesariamente por unos valores de demanda reducidos. Por ello se ha mantenido como un elemento fundamental la exigencia que ya existía desde 2006 en cuanto a la limitación de la demanda, que se determinaba en la Sección HE 1, si bien elevando sensiblemente la exigencia respecto de lo establecido anteriormente.

Sensibilizar a la población, en lo referente a la eficiencia energética de los edificios y sus posibilidades de mejora, constituye otra de las aspiraciones que se recogen en esta actualización del DB HE. Se trata de que, mediante la definición y exigencia explicita de los valores de demanda y consumo energético del edificio, y en línea con el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios, los usuarios puedan disponer de una información más explícita sobre la calidad energética reglamentaria de los edificios, haciéndola más entendible al gran público, en forma de un abanico de siete letras (A-G).

Este esquema de indicadores, que posiblemente será complementado en el futuro con alguno relativo a emisiones de CO₂, se configura como una base estable sobre la cual definir el "edificio de consumo de energía casi nulo", que es otro de los conceptos que introduce la citada Directiva como objetivo a alcanzar en unos plazos determinados.

Regular las intervenciones en edificios existentes:

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 de limitación de la demanda energética, independientes de las establecidas para edificaciones de nueva planta, ya que los condicionantes de las intervenciones en edificios existentes (de tipo constructivo, de orientación, etc.) son mucho más limitadores.

Una normativa más directa y transparente:

Además de los aspectos puramente energéticos, en la nueva revisión se ha cuidado especialmente la facilidad de uso de la norma, procurando hacerla más clara y concisa, expresando de forma más directa sus objetivos con indicadores más claros y diferenciando dichos objetivos de la forma de alcanzarlos, al tiempo que se han elaborado documentos de apoyo y herramientas que facilitan su interpretación, comprensión y aplicación práctica.

• Un objetivo final. La disminución del consumo energético y la mejora de la eficiencia energética de los edificios:

Con esta modificación normativa se pretende un cumplimiento de la norma más sencillo y eficaz, que estimule la innovación por parte de los agentes implicados y favorezca el desarrollo de herramientas, sistemas y estrategias de diseño que consigan disminuir el consumo energético y mejorar de forma sustantiva la eficiencia energética de los edificios.

Con la aprobación en abril de 2013 del **Real Decreto 235/2013**, por el que se aprueba el **Procedimiento Básico para la Certificación de la Eficiencia Energética de los Edificios**, el Estado español regula el procedimiento que permite certificar la eficiencia energética de los edificios y vela por el derecho a la información del ciudadano, dando cumplimiento, por primera vez a las exigencias de la Directiva 31/2010.

"El Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, es precisamente el texto que recoge el procedimiento básico que regula la certificación de la eficiencia energética de los edificios y en el que se establece, como obligación esencial para cualquier ciudadano, que desde el 1 de junio de 2013 todo edificio o parte de este que sea objeto de venta o alquiler disponga de un certificado de la eficiencia energética (CEE) que sea puesto a disposición del comprador o arrendatario. Además, en todo anuncio, promoción o publicidad del inmueble debe incorporarse la etiqueta de eficiencia energética, un distintivo, con un formato oficial reconocido por el

Ministerio de Industria, Turismo y Energía que muestra dos indicadores esenciales para el ciudadano; las emisiones de CO₂ y el consumo de energía (no renovable) del edificio o vivienda". (López, et al, 2013, p. 8).

2.3.2.-Hacia los edificios de energía casi nula (nZEB):

En la antigüedad, la relación entre la arquitectura, el hombre y el clima del lugar era la componente esencial para definir el hábitat humano. La implantación de estrategias arquitectónicas de diseño pasivo (arquitectura bioclimática), en el diseño y construcción de viviendas y edificios, era el recurso capaz de garantizar las exigencias de confort de sus ocupantes, sin que existiera la necesidad de recurrir a sistemas activos de climatización.

Los edificios construidos durante la segunda mitad del siglo XX destacaron por el alto consumo energético y las elevadas tasas de emisión de gases de efecto invernadero, derivados del uso de sistemas de climatización. El alto coste económico, y la dependencia energética de países exportadores de petróleo, empujaron a la clase política europea a instaurar nuevas reglamentaciones que recondujeran esa situación. Para ello se marcaron un nuevo rumbo, ese que debía fomentar la construcción de edificios basados en el ahorro y la eficiencia energética; en definitiva había que retornar a los orígenes, volver a relacionar la arquitectura con el hombre y, por supuesto, con el clima del lugar donde se ubica el edificio. Esta parece ser la dirección que ha marcado la Unión Europea para el horizonte 20202: los edificios de energía casi nula (Nearly Zero-Energy Buildings [nZEB]), edificios de muy alta eficiencia energética, que consumirán muy poca energía o cuyo balance energético será cercano a cero.

"Dentro del concepto de "edificio de energía casi nula (nZEB)", se pueden distinguir los siguientes subconceptos": (Wassouf, 2014, p.19)

 Energía casi nula en parcela: la energía generada debe ser igual a la energía consumida.

- Energía casi nula en fuente: se genera o compra tanta energía renovable como la energía primaria que se consume.
- Energía casi nula en costes energéticos: el valor de la energía no renovable consumida equivale al valor de venta de la energía renovable producida en la parcela.
- Energía casi nula en emisiones: la producción de energías renovables contrarresta las emisiones derivadas del uso del edificio.

"En la actualidad no existe una definición exacta del concepto nZEB, y es muy probable que se desarrollen diferentes estrategias según las zonas climáticas y culturas constructivas para este tipo de edificios". (Wassouf, 2014, p.19).

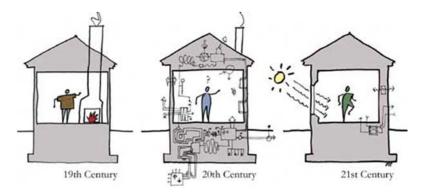


Fig. 2.14 - Avanzar hacia la sustentabilidad.

Fuente: Albert, Righter & Tittmann. Architects Inc. (http://alriti.com/sustainability/index.php).

A pesar de parecer un concepto reciente, lo cierto es que a nivel europeo existen importantes antecedentes en relación a los edificios de bajo consumo energético, tal es así que, en algunos países del norte de Europa, han surgido estándares de construcción, entre los que se pueden destacar los siguientes:

Alemania: Passivhaus, Dena Effizienzhaus 70

• Francia: BBC - Effinergie Neuf

• Italia: Casa Clima - Casa Clima plus

• Suiza: Minergie -P -eco

Austria: klima: aktiv Haus

De todos ellos, el que mayor difusión y aceptación ha tenido ha sido el estándar alemán PassivHaus, que nació como respuesta a esta creciente demanda a finales de los años 80, fruto de las investigaciones realizadas por los profesores Bo Adamson, de la Universidad sueca de Lund, y Wolfgang Feist, del Instituto alemán de Edificación y Medio Ambiente.

En 1991, Wolfgang Feist y Bo Adamson aplicaron su concepción de diseño pasivo a una vivienda en Darmstad, su objetivo inicial era el poder demostrar que, aplicando las bases del estándar que ellos habían concebido, era posible construir, a un precio razonable, viviendas de muy bajo consumo energético a pesar de estar sometidas al riguroso clima de invierno alemán.

Los criterios de evaluación para obtener la certificación Passivhaus en edificios residenciales son los siguientes:

Criterios de evaluación para obtener la certificación

Calefacción

Demanda específica de calefacción ≤ 15 kWh/(m²a) o alternativamente: Carga de calefacción ≤ 10 W/m²

Refrigeración¹ (incluida deshumidificación²)

Demanda de refrigeración total ≤ 15 kWh/(m²a) + 0.3 W/(m²aK) · TGH

o alternativamente: carga de refrigeración ≤ 10 W/m²

Y demanda de refrigeración $\leq 4 \text{ kWh/(m²aK)} \cdot \vartheta_e + 2 \cdot 0.3 \text{ W/(m²aK)} \cdot \text{TGH} - 75 \text{ kWh/(m²a)}$

pero no mayor que: 45 kWh(m²a) + 0.3 W/(m²aK) · TGH

Energía Primaria

Demanda específica de energía primaria para calefacción, refrigeración, agua caliente sanitaria, electricidad doméstica y auxiliar ≤ 120 kWh/(m²a)

Hermeticidad

Valor n₅₀ en el test de presurización ≤ 0.6 h⁻¹

Fig. 2.15 - Criterios de evaluación para obtener la certificación Passivhaus en edificios residenciales.

Fuente: Passivhaus Institut. (http://www.plataforma-pep.org).

Los criterios de refrigeración y deshumidificación están en vigencia de forma provisional y deben ser adaptados con el aumento del nivel de conocimiento.

Los requisitos válidos para los edificios actuales se calculan automáticamente en el PHPP (Pestaña "Comprobación). ϑ_e : Temperatura media annual en el exterior en °C.

TGH: Horas –grado-seco (integral de tiempo de la diferencia de la temperatura de rocío y una temperatura de referencia de 13° C, para todos los periodos de tiempo en el que ésta diferencia es positiva).

Los requisitos para la deshumidificación se describen según la siguiente formula '0,3 W/(m²aK) · TGH'.

El desarrollo e implementación del diseño energéticamente promulgado por el estándar Passivhaus, garantiza niveles satisfactorios de bienestar a los ocupantes de los edificios destinados a uso residencial vivienda. El éxito obtenido en Alemania condujo rápidamente a su difusión internacional, y condujo al resto de países europeos a plantearse la cuestión de si este concepto podría ser aplicable a otras regiones y climas.

Como respuesta a esta cuestión, la Comisión de las Comunidades Europeas financia, dentro del programa Energía Inteligente Europa (IEE) SAVE, los proyectos "Passive-On" y el proyecto PEP.

El proyecto "Passive-On" trata, fundamentalmente, de estudiar la aplicabilidad del diseño propuesto por el "Passivehaus Institute" en la Europa meridional (Portugal, España e Italia), pero también se relaciona con el Reino Unido y Francia como climas templados. En estas regiones, el problema del consumo de energía en las viviendas, no es solo la de garantizar condiciones de confort en la época de invierno, sino también, y en algunos casos es más importante, el proporcionar condiciones de confort en la época estival.

"El estándar "Passive-On", revisado y propuesto para climas europeos cálidos es el siguiente": (Proyecto Passive-On, 2007, p. 9)

Si la refrigeración se satisface mediante sistemas pasivos:

- Requisitos de confort interior:

Según lo definido por el modelo adaptativo del anexo A.2 ("temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánicos") de la EN 15251.

- Demanda de calefacción y refrigeración: < 15 kWh/m²·año
- Energía primaria total < 120 kWh/ m²·año

Si la refrigeración se satisface mediante sistemas activos:

- Requisitos de confort interior:

Según lo definido por el modelo Fanger del EN 15251

- Demanda de calefacción < 15 kWh/m2/año

- Demanda de refrigeración....: < 15 kWh/m2/año

- Energía primaria total: < 120 kWh/m2/año

El estándar propuesto, sin embargo, hace la recomendación de que los sistemas mecánicos deben ser utilizados solamente si hay límites técnicos al uso de soluciones pasivas.

Uno de los resultados más relevantes del proyecto Passive-On, además del puramente técnico, es que ha proporcionado a los responsables políticos un conjunto de medidas que, si se incorporaran a las respectivas legislaciones nacionales, regionales o locales, posibilitaría la expansión de edificios proyectados y construidos aplicando estrategias arquitectónicas de "diseño pasivo", entendiendo como tales aquellas estrategias conducentes a maximizar las ganancias de calor y minimizar las pérdidas de energía del edificio en invierno y minimizar las ganancias y maximizar las pérdidas del edificio en verano.

2.4.- ESTRATEGIAS DE DISEÑO PASIVO EN CLIMAS DESÉRTICOS CÁLIDOS

Diseñar edificios en climas desérticos cálidos resulta más complejo que hacerlos en climas fríos, ya que la naturaleza no nos aporta mecanismos de enfriamiento tan sencillo como el calor gratuito que, en la época de invierno, se aporta a los edificios aprovechando la radiación solar.

"El conjunto de estrategias que pueden desarrollarse en condiciones de verano se pueden agrupar en tres grandes apartados temáticos": (Neila, 2004, p. 286)

A.-Actuaciones contra el sobrecalentamiento

B.-Actuaciones contra la sensación de calor, sin enfriamiento

C.-Actuaciones directas de enfriamiento

A.- Actuaciones contra el sobrecalentamiento

Una de las principales estrategias de diseño pasivo de edificios en climas desérticos cálidos, pasa necesariamente por evitar el sobrecalentamiento de los espacios habitables. El fenómeno de sobrecalentamiento se produce como consecuencia de la transformación, en un espacio confinado, de la energía radiante procedente del sol, en energía térmica. Dicha transformación se produce al ser absorbida la radiación solar por las superficies que delimitan el espacio, que unida al efecto invernadero que evita la dispersión de la radiación de onda larga emitida desde el interior, provoca el mencionado sobrecalentamiento del aire interior que, en determinadas épocas del verano, puede significar que la temperatura del aire interior supere a la temperatura exterior.

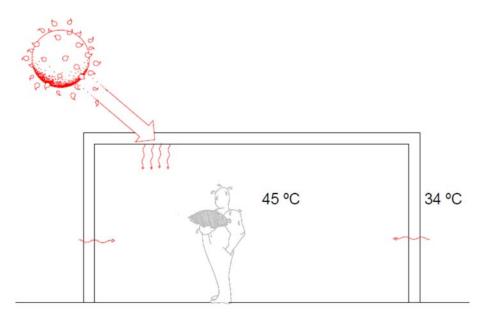


Fig. 2.16 - Fenómeno de sobrecalentamiento en un recinto cerrado.

Fuente: Neila González, Bedoya Frutos. 1994, p. 233.

"Por este motivo, el conjunto de estrategias más importantes a incorporar a un edificio para que funcione en condiciones de verano, son aquellas tendentes al control del sobrecalentamiento, y se pueden agrupar, dando lugar al orden descrito, del siguiente modo": (Neila, 2004, p. 287)

Medidas preventivas:

- a) Para los huecos acristalados:
 - Orientación del hueco
 - Sombreamiento del hueco
 - Selección de vidrios
- b) Para la cubierta:
 - Ventilación
 - Autoventilación
 - Recubrimiento vegetal
- c) Para las paredes:
 - Color
 - Sombreamiento
 - Ventilación
 - Aislamiento

Medidas de eliminación:

d) Ventilación

A.01.- Medidas preventivas:

Las medidas preventivas deben prevalecer sobre las medidas de eliminación. El elemento más débil de la envolvente térmica es el hueco, dado que a través de él es por donde se produce la penetración de la mayor cantidad de energía, ya sea debido a la radiación solar o la diferencia de temperaturas entre el ambiente

interior y el exterior (transmisión). Por ello, este debe ser el elemento sobre el que se establezca el mayor control para prevenir el sobrecalentamiento.

a) Huecos acristalados:

Orientación del hueco:

Luchar contra el sobrecalentamiento pasa, necesariamente, por establecer medidas preventivas que minimicen el impacto de la radiación solar sobre la envolvente térmica de los edificios, prestando especial atención a las partes semitransparentes de la misma. Lograr este objetivo implica, en primera instancia, un exhaustivo estudio de la orientación del edificio al objeto de calibrar la incidencia de la radiación solar y del viento.

La adecuada orientación de un edificio debe estudiarse considerando los factores de irradiación solar total (directa, difusa y reflejada) incidente en cada una de sus fachadas y cubierta, así como la dirección y frecuencia del viento dominante. Está hipótesis permitirá una evaluación precisa de la influencia de la irradiación solar sobre la envolvente, a la vez que se investiga la probabilidad de obtener el enfriamiento convectivo de la superficie de la envolvente por la acción del viento. Así mismo permitirá evaluar la ventilación cruzada de sus recintos interiores, cuando el edificio funcione con sistema de ventilación natural.

En régimen de verano, las estrategias del diseño arquitectónico deberán ser aquellas conducentes a mitigar el sobrecalentamiento del edificio. Estas actuaciones habrán de basarse en la configuración del conjunto del edificio (forma, volumen, color de las superficies exteriores,...) y en cada uno de sus elementos constructivos (muros, cubiertas, huecos,...). Por ello resulta primordial que, en las iniciales etapas del proyecto, se reflexione acerca de las implicaciones que el diseño tiene sobre la posterior demanda energética del edificio, ya que las soluciones posteriores, derivadas de un inapropiado diseño, no dejarán de ser remiendos de insuficiente eficacia. (Neila, 2004).

En la época de verano las orientaciones óptimas son aquellas en las que la envolvente térmica recibe la menor radiación solar a lo largo del día; en las latitudes septentrionales, esa orientación es la norte, pero no hay que olvidar que durante la época de invierno es imprescindible captar esa energía para calentar los recintos interiores, algo que resulta imposible a través de un hueco orientado al norte.

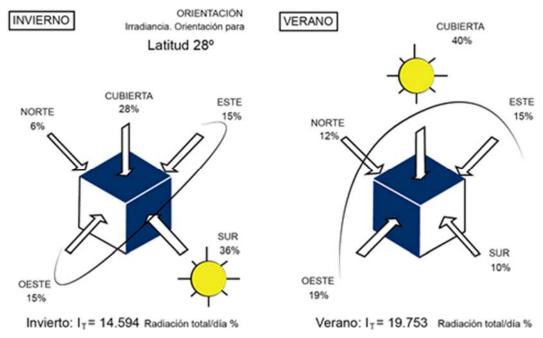


Fig. 2.17 - Irradiancia solar sobre superficies según orientaciones, para la Latitud 28°. Fuente: Elaboración propia.

En la latitud de las Islas Canarias, 28° N, la radiación solar varía según la época del año al variar el ángulo de inclinación del sol. Si para esta latitud, tomamos como referencia un edificio prismático de base cuadrada, y se calcula la irradiancia incidente en cada una de sus fachadas (norte, este, sur, oeste), y en su cubierta, se observa como en la época invernal (21 de enero) la irradiancia diaria incidente en la fachada sur (5.264 W/m2) es aproximadamente un 22% superior a la incidente sobre la cubierta (4.323 W/m2); además es algo más del doble (217%) que las incidentes en las fachadas este y oeste (2.419 W/m2), siendo despreciable la incidente en la fachada norte (917 W/m2).

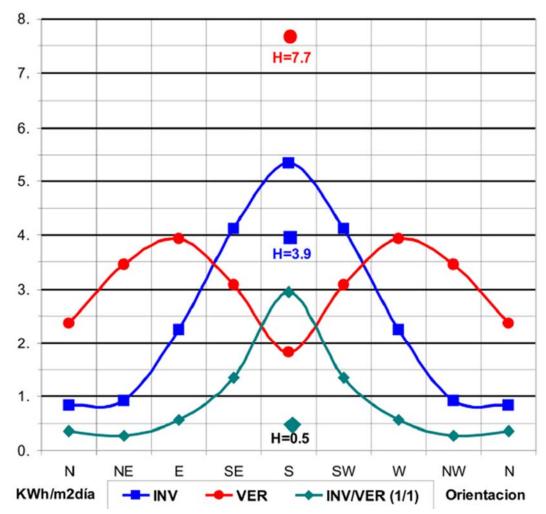


Fig. 2.18 - Irradiación solar (kWh/m2) diaria en verano e invierno de fachadas con diferentes orientaciones y cubierta, en la latitud 28° N (Islas Canarias).

Fuente: Martín, 2006a, p. 128

Por ello, hay que considerar que las fachadas orientadas a naciente y poniente son las más desfavorables, porque en la época de verano reciben la mayor irradiación solar anual, mientras que en la época de invierno, los valores de la irradiación solar son mucho más bajos. El motivo es porque en el solsticio de invierno, el azimut para el orto y el ocaso es de 116,31°, y, por tanto, cuando el sol alcanza una cierta altura, las fachadas a naciente y poniente reciben muy poca irradiación solar directa. Por el contrario, en el solsticio de verano, el orto se adelanta con un azimut de 62,69°, por lo que al alcanzar el azimut 90°, el sol se encuentra enfrentado a las fachadas este u oeste.

"A pesar de que la irradiación solar es similar en el este y en el oeste, la intensidad punta coincide en el oeste con el momento de las temperaturas del aire más elevadas, dando lugar a una carga punta de temperaturas altas". (Koenigsberger, et al, 1977, p. 213).

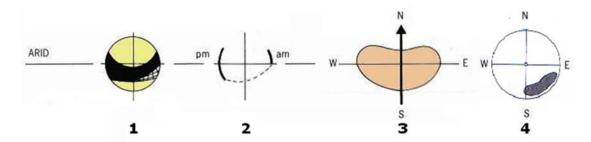


Fig. 2.19 - Consideraciones proyectuales para edificios ubicados en clima cálido, según orientación.

- Las áreas sombreadas representan los periodos de sobrecalentamiento, asociados a ganancia solar no deseada.
- 2.- El diagrama muestra la ubicación óptima de protección solar vertical, que protege el edificio de los ángulos bajos del sol al amanecer y al atardecer.
- 3.- Recorrido solar.
- 4.- Emplazamiento óptimo, se debe dar preferencia a la orientación hacia el Sureste y evitar la orientación hacia el Oeste, por la radiación excesiva que hay por la tarde.

Fuente: Elaboración propia a partir de www.arch.hku.hk/~cmhui/teach/65156-7.htm y Serra y Coch, 1991.

La orientación preferida en fachadas será sin duda el Sur exacto, aunque también serán aceptables las orientaciones en el arco SurEste-SurOeste, por el excelente soleamiento en los dos meses más fríos del año (Fig. 2.20, color azul). Por el contrario, no se aconsejan las orientaciones en el arco Este-NorEste y Oeste-NorOeste, debido al excesivo soleamiento en los dos meses más cálidos (Fig. 2.20, color rojo).

"En conclusión, los edificios alargados en dirección Este-Oeste facilitan el acceso solar a las fachadas sur y reducen la superficie de las que tienen peores orientaciones, Este y Oeste exactos, evitando especialmente la apertura de huecos a poniente por el intenso calor de las tardes. La valoración de la orientación norte hay que ponderarla cuidadosamente en función del clima anual de la zona". (Martín, 2006a, p. 129).

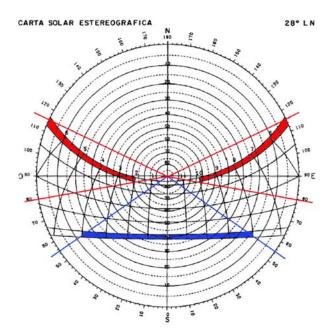


Fig. 2.20 - Orientaciones de fachadas aconsejables (color azul) y desaconsejables (color rojo) para edificios ubicados en el clima desértico cálido de las costas de la Islas canarias (latitud 28° N).

Fuente: Martín, 2006a, p. 129.

"Para las Islas Canarias se proponen los siguientes criterios de valoración de las orientaciones según la altitud, mediante una escala entre muy buena (+2) y muy mala (-2)": (Martín, 2006a, pp. 129-130).

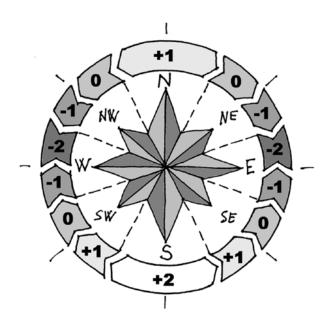


Fig. 2.21 - Valoración de orientaciones para el clima de las costas de las Islas Canarias.

Fuente: Martín, 2006a, p. 129.

En la franja costera de Canarias, cuyo clima se caracteriza por veranos cálidos e inviernos suaves, es muy importante evitar las orientaciones entre SEE-NE y SWW-NW, mientras que las fachadas norte son bastante deseables, porque satisfacen la demanda del edificio de refrigeración pasiva en verano con ventilaciones cruzadas. Las pérdidas moderadas en invierno se pueden equilibrar térmicamente mediante recirculación interna de la ganancia solar con las fachadas sur.

Sombreamiento del hueco:

"Las prestaciones básicas del comportamiento térmico de los huecos deberían seguir la siguiente secuencia": (Martín, 2006a, p. 173).

- 1. Barrera térmica: diseño de huecos exteriores con un aislamiento térmico y control solar muy elevados que independice el ambiente interior de las temperaturas extremas exteriores y del soleamiento.
- 2. Control del flujo de aire: diseño de huecos con una elevada estanqueidad para controlar la disipación de calor por infiltración en invierno, y sistemas de apertura que favorezcan la ventilación cruzada en verano.

Algunas prestaciones de los huecos pueden alcanzarse con elementos constructivos de poco espesor (membrana o lámina), tal es el caso de aquellas que están destinadas al control de la radiación solar (protecciones solares) o aquellas cuyo fin está destinado al control de los flujos de aire indeseados (control de las infiltraciones de aire). Sin embargo otras prestaciones, como las destinadas a controlar el flujo de calor por diferencia de temperaturas entre el ambiente interior y el exterior (aislamiento térmico), requieren de elementos constructivos de determinado espesor o baja conductividad.

Las protecciones del hueco acristalado tienen como objetivo mejorar su comportamiento energético. Estas protecciones solares se pueden clasificar

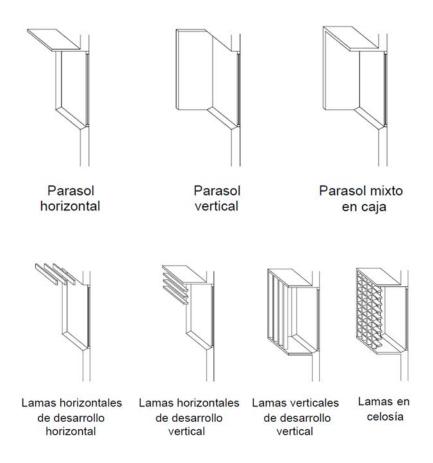
según protejan exclusivamente de la radiación solar o aquellas que además mejoran el aislamiento térmico.

"Por ello se podrían clasificar del modo siguiente: (Neila, 2004, p. 291)

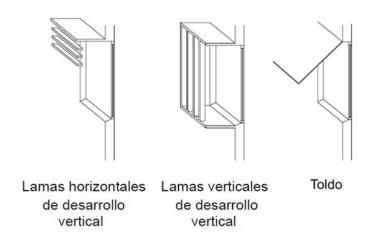
- Protecciones exclusivamente de la radiación solar (PERS).
- Protecciones de la radiación solar y de la transmisión de calor (PRSTC)

Los dispositivos que protegen exclusivamente de la radiación solar (PERS) se denominan parasoles, y su función es únicamente la de sombrear el hueco acristalado. Estos elementos, a su vez, se clasifican como elementos fijos o elementos móviles:

• PERS fijos:



PEAS móviles:



En los climas desérticos cálidos, con predominio de las condiciones de calor durante gran parte de los días del año, es relevante el estudio exhaustivo de los recorridos del sol entre los solsticios de verano y de invierno, evaluando su influencia sobre las diferentes orientaciones de los huecos de un edificio, con el fin de incorporar dispositivos de sombreamiento que permitan la captación solar en condiciones de invierno, o el sombreamiento en verano.

También es fundamental considerar las épocas de los **equinoccios** ya que, si bien los huecos reciben idéntico soleamiento, en la época de marzo aún conviene aplicar estrategias de invierno, mientras que en septiembre los huecos necesitan protegerse del exceso de calentamiento.

"Para reducir la captación de radiación solar por las ventanas en verano se recomiendan una serie de medidas, comentadas por orden de aproximación de exterior a interior, siendo fundamentales los sistemas de protección solar exterior o parasoles según sea su orientación e inclinación". (Martín, 2006a, p. 191).

La protección solar de los huecos verticales se adaptará a su orientación solar y a los obstáculos solares del entorno. La orientación óptima es la Sur exacta, seguida de cerca por la Norte exacta, aunque en estos casos existe una tolerancia mucho menor en la desviación, puesto que una desviación de 45°

supone una ganancia entre el 135% y el 150% de la radiación diaria. Las orientaciones Este y Oeste son las más desaconsejables, por la magnitud de la incidencia solar y por la dificultad de protección solar efectiva, aunque la peor situación la tienen los huecos horizontales con una extraordinaria ganancia solar en verano (más del 300% que en el sur) y prácticamente imposibles de proteger del soleamiento. (Martín, 2006a).

Con respecto a la inclinación de los huecos, el mejor comportamiento se obtiene en el plano vertical (90°), que suele ser la solución convencional para cerramientos de fachadas. Cualquier plano con una inclinación menor a los 90°, y que mire hacia el suelo, obtendrá mejores prestaciones frente a la incidencia de la radiación solar. Las peores condiciones se darán en aquellos huecos (lucernarios) situados en planos inclinados orientados hacia el cielo, ya que con esta disposición se aumenta la captación de la radiación solar.

Las protecciones de la radiación solar y de la transmisión de calor (PRSTC) actúan en dos vertientes a la hora de controlar los intercambios térmicos a través de cerramientos semitransparentes. Por un lado, al situarse la protección solar paralela al vidrio, y separada una corta distancia, se crea una cámara de aire que minimiza la transmisión de calor al mejorar la resistencia térmica del conjunto en el conjunto Protección solar-Vidrio. Pero al mismo tiempo, y al estar situada por el exterior del vidrio, consigue interceptar la radiación solar que llega a la superficie acristalada, con la consiguiente reducción de la carga solar.

Estas protecciones obstruyen total o parcialmente el paso del sol, llegándose a utilizar algunas para el oscurecimiento completo de los recintos habitables, y se pueden clasificar como:

PRSTC exteriores:

- Persianas
- Contraventana

PRSTC interiores:

- Cortinajes
- Persiana veneciana

"Cuando se emplean protecciones interiores se produce una reducción de la radiación solar directa que incide sobre los paramentos interiores, pero no se evita que la radiación haya atravesado ya el vidrio, iniciándose el efecto invernadero". (Neila, 2004, p. 293).

Selección de vidrios:

Los huecos son sistemas compuestos de acristalamiento y carpintería, en los que, a efectos de transmisión de calor, se deben considerar la unión de estos elementos entre sí, por lo que el cálculo de su transmitancia térmica resulta algo complejo al tener que determinarse tanto la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y el acristalamiento, como la transmitancia térmica lineal debida al acoplamiento entre marco y los paneles opacos, en caso de que existan.

"También es importante considerar que la masa superficial de los huecos suele ser muy pequeña, por lo que la acumulación de calor suele ser despreciable. Por la misma razón, se considera que **los flujos de calor son instantáneos**, tanto por conducción como por radiación, al contrario de lo que ocurre con la inercia térmica de los cerramientos pesados". (Martín, 2006a, p. 174).

En cualquier caso, del conjunto de elementos que componen el hueco el de mayor superficie siempre será el vidrio, y por ello, deberá ser éste el elemento al que deberá demandársele unas determinadas prestaciones a la hora de satisfacer las exigencias proyectuales previstas.

Las prestaciones térmicas de los vidrios se de terminan en función de sus propiedades, entre las que se deben destacar el coeficiente de transmisión térmica U_V (W/m²·K) y el factor solar a incidencia normal (g $^\perp$).

Estas propiedades térmicas son inherentes a cada tipo de vidrio, por lo que a la hora de demandar unas determinadas prestaciones, es necesario conocer la tipología de vidrios que se comercializan. En general los tipos de vidrios mayoritariamente empleados en construcción "pueden distribuirse en tres grandes grupos: los acristalamientos no aislantes, que son las lunas sencillas y están constituidos por un solo vidrio; los acristalamientos dobles o aislantes a la conducción, formados por dos lunas separadas por una cámara de aire; y los acristalamientos aislantes a la radiación, que pueden venir combinados con un vidrio doble". (Neila, 2004, p. 289).

Factor solar (g^{\perp}) de un vidrio es el cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco. Por tanto, el factor solar permite evaluar, la protección que ofrece el vidrio utilizado en el acristalamiento para evitar que la radiación penetre al interior del edificio.

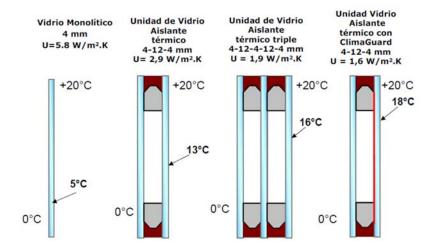


Fig. 2.22 - Transmitancia térmica y temperatura superficial interior de diferentes tipos de vidrios.

Fuente: El vidrio y el CTE. Guardian Glass España.

"El factor solar engloba los porcentajes, sobre el total de la energía solar incidente, de la energía transmitida a través del vidrio y de la absorbida por el acristalamiento y reenviada al interior del local; por tanto, el factor solar indica la transmitancia total a través del acristala- miento. En la tabla 5.1 se muestran los valores del factor solar de diversos vidrios". (Neila, 2004, p. 290).

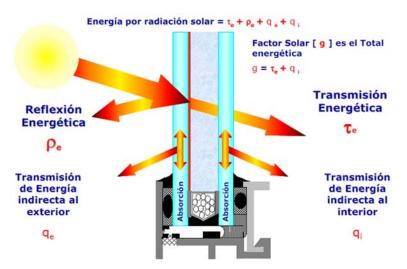


Fig. 2.23 - Distribución de la Energía por radiación solar en un doble acristalamiento.

Fuente: El vidrio y el CTE. Guardian Glass España.

b) Cubiertas:

La ventilación:

La cubierta horizontal es la parte de la envolvente térmica que mayor radiación solar recibe durante el año convirtiéndola, por tanto, en el elemento más delicado y sobre el que hay que prestar mayor atención y dedicación. Debido a ello, los recintos habitables situados directamente bajo las cubiertas serán los que sufran mayores cuotas de sobrecalentamiento, convirtiéndose en los más calurosos de un edificio. Sin embargo, en el caso de cubiertas inclinadas, además de que reciben menor radiación solar durante el año que las horizontales, debido a la orientación de los diferentes paños del tejado, resulta que existe la posibilidad de ventilarla. Una cubierta inclinada muy ventilada disipa en la cámara de aire el calor absorbido en los elementos de cobertura

y en el tablero, alcanzándose en su interior temperaturas semejantes a las del ambiente interior.

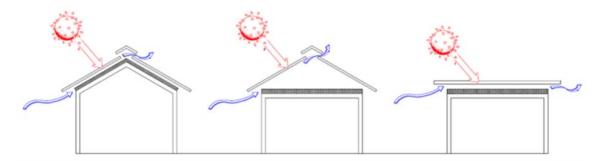


Fig. 2.24 - Tipos de cubiertas ventilada.

Fuente: Neila, 2004, p. 295.

La Autoventilación:

La Autoventilación hace referencia a ese tipo de cubiertas que es permeable al paso del aire y, cuyo uso, se ha extendido tanto en regiones con climas fríos como en regiones con climas muy calurosos y húmedos, en las que se deben garantizar altos caudales de ventilación debido a que los huecos, para evitar la carga energética debida a la radiación solar, suelen ocupar pequeñas superficies de fachada.

Recubrimiento vegetal:

En las últimas décadas ha ido creciendo el interés sobre los beneficios energéticos ambientales que pueden aportar las cubiertas con recubrimiento vegetal, tanto nivel a urbano como a nivel de edificio.

Las cubiertas ajardinadas se clasifican en función del espesor del substrato, el tipo de vegetación y el mantenimiento. Según ello, las cubiertas ajardinadas pueden ser de dos tipos, extensivas o intensivas.

La cubierta extensiva, también llamada ecológica, tiene una capa vegetal de poco espesor, habitualmente menor de 10 cm, con plantas autóctonas de bajo porte, en las que el abastecimiento de agua y de nutrientes se efectúa por procesos naturales. Su mantenimiento es nulo o muy escaso.

La cubierta intensiva, también llamada convencional ajardinada, tiene un substrato de mayor espesor (mayor de 20 cm), con plantas, árboles y arbustos de mayor porte, y el mantenimiento típico de cualquier jardín.

El comportamiento térmico de una cubierta es más amplio que el de cualquier otro tipo de cubierta, ya que su rendimiento térmico se sustenta en tres principios básicos: el sombreamiento del sustrato, la evapotranspiración y la masa térmica.

A nivel urbano, uno de los beneficios que aportan las cubiertas verdes es el de reducir la temperatura ambiente, mitigando el efecto de la Isla de Calor Urbano.

A nivel de edificio, el recubrimiento vegetal, a través de la constante reflexión de las radiaciones, no permite la penetración de la radiación solar en la superficie de la cubierta, en esto también influyen la textura, la densidad y la altura de las plantas, produciendo a su vez sombra sobre el sustrato, protegiéndolo de la radiación solar directa, manteniéndolo por tanto a una temperatura inferior a la del ambiente exterior. En los procesos de la evaporación provocada por la humedad retenida por el substrato en contacto con la radiación solar, y el de evapotranspiración, en el que el recubrimiento vegetal demanda energía, y la obtiene fundamentalmente del sol y de la capa de aire circundante; este consumo de energía por parte del recubrimiento vegetal conlleva que la capa de aire atrapada entre el sustrato y el recubrimiento vegetal se encuentre, también, a una temperatura menor que la del aire existente sobre la capa vegetal. El substrato orgánico, generalmente de baja conductividad térmica, también contribuye al aislamiento térmico de la cubierta, debido a su porosidad, huecos de aire y espesor considerable, siendo efectivo tanto en verano como en invierno.

Un trabajo desarrollado por investigadores de la Universidad Politécnica de Madrid y de la Università Politecnica delle Marche ha demostrado que las cubiertas verdes con elevada densidad de vegetación son un 60% más

eficientes energéticamente que las cubiertas sin vegetación. Los resultados demuestran que "cuando la densidad de vegetación es elevada, el calor entrante en el edificio a través de la cubierta es de un 60% inferior al calor que entra cuando no hay vegetación. Además, se ha demostrado que la cubierta con una elevada densidad de vegetación actúa como un sistema de refrigeración pasivo; de hecho, la energía que sale del edificio a través de la cubierta durante el verano supera en un 9% a la energía que entra durante el mismo período. Por último, se demuestra que el modelo numérico desarrollado tiene un buen grado de aproximación, ya que reproduce el comportamiento térmico de la cubierta con un error que varía entre el 5% y el 7%. Esto permite utilizar el modelo para estudiar el ahorro energético generado por las cubiertas vegetales en localidades con clima mediterráneo costero". (Olivieri, et al. 2013, p. 13).

c) Paredes:

Color:

Una de las formas más eficaces de evitar el sobrecalentamiento de los edificios es la de establecer un control sobre los flujos de radiación calorífica en la superficie exterior de la envolvente térmica.

Para estimar los flujos de radiación calorífica en los ambientes exteriores e interiores, las propiedades físicas fundamentales de las superficies de los cerramientos son los coeficientes de **absortancia** (α) a la radiación de onda corta (visible e infrarrojo cercano) –característica de la radiación solar y de la iluminación interior— y los coeficientes de **emitancia** (ε) a la radiación de onda larga (infrarrojo lejano) –característica de la irradiación de cuerpos a temperatura ambiente. (Martín, 2006a, p. 36).

Superficies	Absortancia α	Emitancia &
Plástico blanco	0.05	0.92
Cal, yeso	0.08	0.95
Aluminio pulido	0.10	0.05
Papel	0.25	0.95
Pintura blanca reciente	0.10 a 0.15	0.90
Pintura colores claros	0.30 a 0.40	0.90
Acero inoxidable	0.45	0.25
Mármol	0.40 a 0.50	0.95
Pintura colores medios y grises	0.50 a 0.70	0.90
Ladrillo rojo	0.65	0.93
Acero galvanizado nuevo	0.65	0.20
Hormigón claro	0.60 a 0.70	0.88
Pinturas oscuras	0.80 a 0.90	0.90
Arena húmeda	0.90	0.95
Asfalto	0.95	0.95

Fig. 2.25 -Absortancia y Emitancia de algunos materiales empleados en construcción. Fuente: Martín, 2006a, p. 37.

El impacto de la radiación solar es un factor crítico del acondicionamiento térmico en condiciones de verano que puede generar flujos de calor varias veces superior al producido por las temperaturas del aire. Como criterio general, cualquier acabado exterior de espacios habitados que reciba soleamiento debería tener una alta reflectancia, siempre que sea compatible con criterios de control del deslumbramiento o integración paisajística.

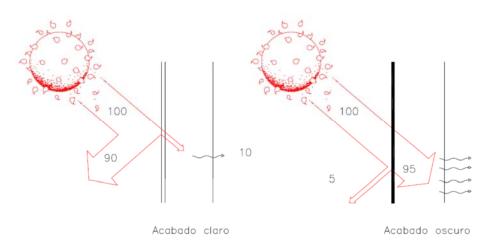


Fig. 2.26 -Influencia del color del acabado en la absorción de la radiación solar. Fuente: Neila y Bedoya, 1994, p. 234.

"Por orden de importancia, son las superficies de **cubiertas y las fachadas oeste y este** las que deberán tener **limitadas las ganancias** por absorción de la radiación solar, con colores muy claros y coeficientes de absorción entre 0.1 y 0.3". (Martín, 2006a, p. 161).

Sombreamiento:

Las fachadas son, después de la cubierta, los componentes de la envolvente que reciben mayor irradiación por lo que se deberá estimar adecuadamente el impacto de las altas temperaturas en los arcos Este-NorEste y Oeste-NorOeste, debido al excesivo soleamiento en los dos meses más cálidos.

"Si una fachada se encuentra apropiadamente protegida, o bien equipada con elementos que proporcionen sombra (tales como árboles, balcones, etc...), el impacto de la radiación durante los periodos cálidos (R_o), será menos importante que durante los periodos fríos (R_u). Si existen grandes superficies acristaladas, R_o será un factor más decisivo que R_u. De esta forma, la relación entre R_o y R_u dependerá del tratamiento de las fachadas". (Olgyay, 1998, p. 62).





Fig. 2.27 - Sombreamiento total de las fachadas de los edilicios de la calle los Sierpes de Sevilla (España)

Fuente: Neila, 2004, p. 302.

La optimización de la orientación de un edificio está en función de las variaciones de la intensidad de la radiación solar en cada una de las fachadas a lo largo de las estaciones. El diseño y construcción de edificios en las regiones con climas fríos conlleva la tendencia a las formas compactas,

mientras que en los climas cálidos, el alto impacto de la radiación solar, induce al alargamiento de las formas.

"En los climas cálidos secos los edificios normalmente se agrupan bastante entre sí para que se den sombras unos a otros y para crear estrechas calles en sombra y pequeños espacios intermedios". (Konya, 1981, p. 54).

La ventilación:

"Como complemento o como alternativa a los colores del acabado exterior están las fachadas ventiladas. El funcionamiento es idéntico al de las cubiertas ventiladas, y tienen como objetivo, igualmente, eliminar mediante la ventilación el calor absorbido por las láminas exteriores de la fachada cuando reciben el sol. La combinación con el aislamiento es muy positiva, pero exclusivamente si se coloca el aislante en la lámina interior (Fig. 2.27). Una tipología que aplica esta estrategia de forma extrema es la casa de doble piel o pared, en la que la cámara ventilada de cubiertas y fachadas se unen permitiendo una ventilación de la cámara integral y dando la impresión de que hay una casa interior dentro de otra exterior". (Neila, 2004, pp. 300-301).

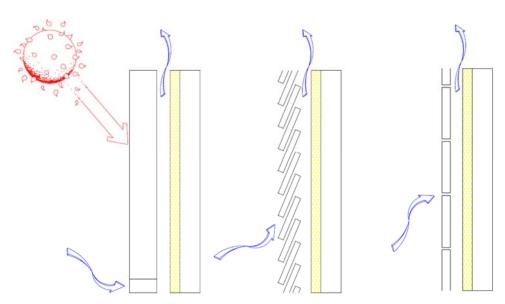


Fig. 2.28 - Muros ventilados.

Fuente: Neila y Bedoya, 1994, p. 301.

El aislamiento térmico:

"Un caso particular de comportamiento térmico, muy frecuente en fachadas y cubiertas, es la **incidencia de la radiación solar** en la superficie exterior de los cerramientos que puede generar **temperaturas muy elevadas y grandes flujos de calor** de magnitud muy superior a la simple diferencia de temperatura entre interior y exterior". (Martín, 2006a, p. 46).

Proteger a los edificios de la radiación solar mediante la disposición de aislamiento térmico resistivo no parece ser la solución más acertada, ya que este actuará cuando la radiación solar se ha transformado en calor, y tiende a penetrar al interior del edificio por transferencia de calor por conducción, debido a las diferencias de temperatura existente entre los ambientes interior y exterior. Proteger a los edificios de la radiación solar obliga al empleo de aislamientos de tipo reflectivos, cuya disposición resulta en ocasiones bastante compleja.

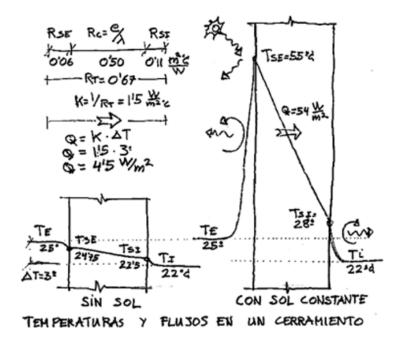


Fig. 2.29 - Ejemplo de la diferencia de comportamiento térmico de un cerramiento cuando no recibe radiación y está expuesto al soleamiento.

Fuente: Martín, 2006a, p. 46.

"Sin embargo, en condiciones de verano la presencia de la radiación solar marca grandes diferencias horarias, por lo que el tiempo que tarda la onda térmica en atravesarlo y su relación con la temperatura exterior es muy importante. Cuando más grueso sea un cerramiento más tarda la onda térmica en atravesarlo". (Neila, Bedoya, 1994, p. 236).

"Cuando los cerramientos de los edificios cambian su temperatura, calentándose o enfriándose, pueden acumular grandes cantidades de calor debido a su gran masa. Por razones similares, cuando penetra un determinado flujo de calor en un edificio, los cerramientos tendrán un ligero incremento de temperatura, debido a su elevada capacidad de acumular calor o capacidad térmica". (Martín, 2006a, p. 43).

El diseño óptimo en condiciones de verano obliga a disponer el aislamiento térmico resistivo por el exterior, ya que de esta forma se favorece la inercia del recinto. "El empleo masivo de inercia puede llegar a provocar que la temperatura en el interior permanezca fija y con un valor igual a la temperatura media del día". (Neila, Bedoya, 1994, p. 236).

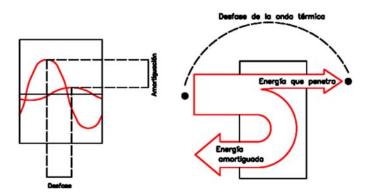


Fig. 2.30 - Desfase y amortiguación de la onda térmica.

Fuente: Neila, 2004, p. 382.

A.02.- Medidas de eliminación del sobrecalentamiento:

Las medidas de eliminación del sobrecalentamiento resultan ser tan imprescindibles como las actuaciones preventivas. Estas medidas se pueden

resumir en una única acción: **ventilación**, como recurso para sustituir el aire interior sobrecalentado por aire exterior más fresco, aunque su temperatura pueda resultar elevada para las condiciones de bienestar exigidas.

La temperatura operativa es uno de los parámetros que mide la sensación de calor o de frío que nos provoca un determinado ambiente, ya que mide las condiciones ambientales que determinan la temperatura en las que el cuerpo humano elimina calor por convección y por radiación, para garantizar un grado mínimo de bienestar térmico. Pero la sensación de bienestar depende, a su vez, de otros muchos parámetros, tales como la vestimenta, la actividad de los usuarios, la velocidad del aire, la radiación solar, la humedad relativa interior, etc.... "La temperatura y la humedad relativa vienen modificadas por el movimiento del aire: a mayor velocidad del aire mayor frescor o frío por evaporación y menor agobio o incomodidad por eliminación de humedad ambiente". (Velasco, 2011, p. 15)

La conducta de los usuarios para modificar una determinada sensación térmica, adaptando su actividad y vestimenta al clima interior, es una de las actuaciones más naturales que existen, y cuya aplicación no exige la modificación de la temperatura interior.

En cualquier caso, "existen otras actuaciones que, sin ser de una efectividad tan directa, deben ser contemplados en el diseño de un edificio bioclimático. De entre ellos hay tres de enorme importancia":

- Reducción de la humedad relativa
- Incremento de la velocidad del aire
- Incorporación de superficies frías

"La humedad, siendo fundamental, es difícil de controlar. En condiciones de verano lo más adecuado sería reducir la humedad ambiente para favorecer la evaporación de nuestro sudor, ya que es el mecanismo más importante que tiene el organismo para

disipar calor en verano. Incrementar la humedad ambiente es fácil, pero reducirla sin medios mecánicos es complicado. Dado que va a resultar muy difícil reducir la humedad, al menos es necesario evitar que en ambientes húmedos exceda de ciertos límites. El hombre se encuentra confortable entre el 30 y el 70% de humedad relativa, y ese es el valor que no debemos superar; pasar del 30 al 80% de humedad relativa supone incrementar la sensación de calor en 4°C. Dado que el interior de un espacio cerrado se produce un efecto similar al del sobrecalentamiento, que podríamos llamar de sobrehumectación, es decir, más cantidad de humedad dentro (debido a las personas y sus actividades) que en el exterior, la ventilación produciría el mismo efecto, es decir, eliminar el aire interior sobrehumedecido y su sustitución por aire exterior algo menos húmedo". (Neila, 2004, p. 304).

La regulación de la **velocidad del aire** resulta ser un recurso más sencillo de controlar que el de la humedad relativa. Cada vez que elevemos la velocidad del aire en 0,2 m/s se reduce la sensación de calor en aproximadamente 1 °C, pero existe un límite en su aplicabilidad ya que, en las épocas más calurosas no se debe sobrepasar el límite de 1,2 m/s, ya que se pueden generar condiciones de incomodidad funcional debidas a la velocidad (vuelo de papeles, corrientes de aire frío que provoquen disconfort local.....).

Una consecuencia natural del sobrecalentamiento de los espacios interiores es el conocido fenómeno de la estratificación del aire, por el cual la temperatura del aire de un recinto no se mantiene uniforme ni homogénea, sino que se generan diferentes capas de aire a distintas temperaturas que se superponen desde el suelo hasta el techo, lugar donde se localiza la capa de aire a mayor temperatura.

Si dentro de ese espacio se inducen corrientes de aire que recorran el recinto en diagonal o exclusivamente por la parte superior, se conseguirá mitigar los efectos del sobrecalentamiento por el desplazamiento del aire caliente y su sustitución por otra masa de aire con temperaturas más bajas.

"El primer recorrido, en diagonal, es el que debe utilizarse cuando el aire de ventilación es fresco, por corresponder a aire nocturno, a aire de la zona norte del edificio o a aire previamente enfriado al pasar por una zona húmeda. En el segundo, la circulación de aire se realiza por la parte alta de la habitación empleando ventanas con aberturas de tipo bandera; debe emplearse cuando el aire que va a utilizarse está a mucha temperatura, próxima a la de la piel." (Fig. 2.31). (Neila, 2004, p. 305).

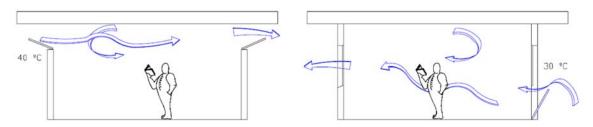


Fig. 2.31 - Técnicas de ventilación según la temperatura del aire exterior.

Fuente: Neila, 2004, p. 305.

Otro parámetro controlable sobre el que se puede actuar para eliminar el sobrecalentamiento, y minimizar la sensación de calor, es la radiación. Dos cuerpos que se encuentran a distintas temperaturas intercambian energía por radiación, convirtiéndose el cuerpo que se encuentra a mayor temperatura en emisor, emitiendo mayor cantidad de energía, convirtiéndose el cuerpo de menor temperatura en receptor de calor.

"Este intercambio térmico por radiación también se produce entre las superficies interiores de los recintos. El calor que actúa sobre el exterior de los cerramientos y que penetra parcialmente, eleva la temperatura de la cara interior del muro. Esa pared caliente aumenta la sensación de calor en 1 ó 2°C en locales con los muros aislados, pero puede llegar a incrementarla hasta en 5°C (se siente como 35°C un ambiente de 30°C) en locales con cerramientos muy débiles, como pueden ser las cubiertas de chapa de acero. Esa sensación de calor, provocada por la radiación, se suele apreciar en las horas de la tarde, que es cuando llega la onda de calor que comenzó a penetrar en el muro por la mañana". (Neila, 2004, pp. 305-306).

"Los cerramientos emiten radiaciones de onda larga, correspondiente al espectro infrarrojo lejano, procedente de sus superficies a temperaturas típicas del ambiente, en función de una propiedad superficial denominada emitancia, y de forma simultánea absorben radiaciones similares emitidas por las superficies visibles de su entorno, en un proceso denominado irradiación". (Martín, 1995. p. 12).

B.- La Compacidad:

El aprovechamiento que un edificio obtenga del entorno donde se ubica está en relación directa con su forma, que viene determinada por su volumen y la superficie de su envolvente térmica.

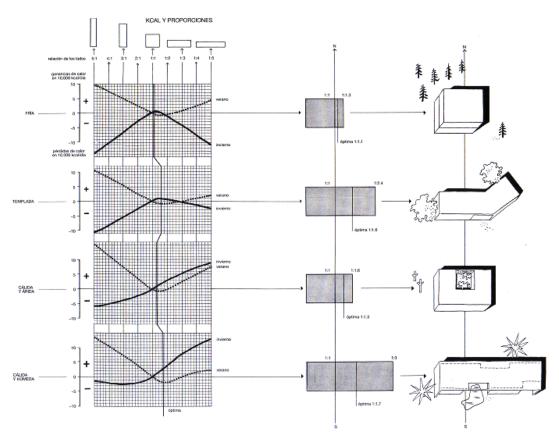


Fig. 2.32 - Forma y proporciones de la planta de los edificios en diferentes regiones. Fuente: Olgyay, 1998, p. 89.

Los estudios de Víctor Olgyay sobre la forma más favorable de una vivienda en un entorno dado, aplicado en diferentes localidades, concluyeron en que la planta cuadrada no es la forma óptima en ninguno de los emplazamientos estudiados, que las formas alargadas sobre un eje norte-sur, son menos eficaces que la forma cuadrada tanto en invierno como en verano y que en todos los casos, la forma óptima es aquella que, de alguna manera, se desarrolla a lo largo de un eje con dirección este-oeste. (Olgyay, 1998)

La forma óptima de un edificio debe ser aquella que durante el invierno minimice las perdidas energéticas, maximizándolas o evitando el sobrecalentamiento del edificio, durante el verano. El concepto subyacente en este principio es la noción de compacidad, que establece una relación entre la superficie de le envolvente térmica de un edificio y el volumen confinado en ella:

$$C = V/S$$
 [2.1]

Siendo:

C = Compacidad (m)

V = Volumen del edificio (m³)

S = Superficie de la envolvente térmica (m²)

La superficie de la envolvente en contacto con el ambiente exterior es un indicador de las pérdidas o ganancias de energía del edificio, ya que se ve directamente afectada por el gradiente de temperatura exterior-interior, la radiación solar y la exposición a los vientos, mientras que el volumen es un indicador de la cantidad de energía almacenada dentro del edificio.

La compacidad no está recogida en el texto del cuerpo normativo español relativo a limitación de demanda energética (CTE DB HE-1) o certificación de eficiencia energética (Decreto 47/2007), tan solo figura en el documento "*Opción simplificada. Viviendas. Procedimiento*" redactado por AICIA –Grupo de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros Industriales de la Universidad de Sevilla– para el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) y el Ministerio de Vivienda, con el objetivo de mostrar un procedimiento

simplificado de calificación de eficiencia energética en viviendas que cumplan estrictamente con la sección HE-1 del Código Técnico de la Edificación.

La compacidad vino a sustituir al factor de forma que figuraba en la derogada NBE CT-79 "Condiciones térmicas en los edificios":

$$f = S/V$$
 [2.2]

Siendo:

f = Factor de forma (m⁻¹)

S = Superficie de la envolvente térmica (m²)

V = Volumen del edificio (m³)

El factor de forma permite verificar que, al aumentar una forma dada, la superficie de la envolvente exterior aumenta en menor proporción que el volumen por ella contenido. Así, por ejemplo, el volumen de un cubo aumenta con la tercera potencia de su lado, mientras que su superficie lo hace según la segunda potencia. Por ello, las pérdidas de calor referidas a 1 m³ del local, a igualdad de forma cúbica, es siempre menor en un gran edificio que en pequeñas construcciones.

Sin embargo, este concepto es fuertemente criticado por determinados autores, al considerar que es conceptualmente ilógico que un que un "edificio más compacto que otro, si tiene un volumen más grande, puede resultar con un factor de forma más pequeño. Igualmente, dos edificios de forma idéntica, pero de tamaños distintos, tengan factores de forma diferentes". (Serra, Coch, 1991, p. 241)

Este mismo razonamiento se puede aplicar al concepto de compacidad adoptado en el documento "*Opción simplificada. Viviendas. Procedimiento*" (en adelante se denominará compacidad oficial), y ello se debe a que tanto el factor de forma como la compacidad, son coeficientes dimensionales, expresado uno en m-1 y el otro en m.

Para evitar estas incoherencias, estos autores proponen un concepto diferente de compacidad de un edificio (c'), definiéndolo como la relación entre la "superficie equivalente" (SEQ) que rodea al edificio y su volumen, o sea que se refiere al grado de concentración de las masas que lo componen.

La "superficie equivalente" (S_{EQ}), es la superficie de la esfera que tiene el mismo volumen que el edificio, con la "superficie global del edificio" (S_G), entendiendo como tal toda la piel que le rodea (tanto la superficie libre, como la que está en contacto con los edificios vecinos o con el terreno). Al calcular la superficie de la piel del edificio, no se considera la de los patios interiores cuya superficie de contacto con el exterior sea inferior a 1/6 de la superficie total de las caras del patio, ni tampoco la de los pliegues de la fachada, entendiendo por tal a cualquier saliente o entrante de la fachada del edificio cuyo punto más lejano esté a menos de un metro de la superficie soporte de la fachada.

Al contrario que el factor de forma y la compacidad oficial, el coeficiente de compacidad propuesto es adimensional y está definido de forma que, a la máxima compacidad, que es la de la esfera, le corresponde un coeficiente también máximo (igual a 1). En este caso, edificios con la misma forma tendrán idéntico coeficiente de compacidad, aunque su volumen sea distinto.

$$C' = S_{EQ}/S_G = 4,836 \cdot V_T^{2/3}/S_G$$
 [2.3]

A mayor coeficiente de compacidad menor contacto tiene el edificio con las condiciones ambientales exteriores; ello significa menores posibilidades de captación de radiación solar en verano y menores posibilidades de pérdida de energía en invierno. Pero a mayor compacidad también hay menos posibilidades de ventilación. (Serra, Coch, 1991)

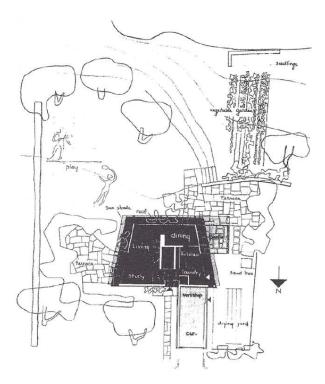
Al mejorar la compacidad de un edificio se mejora su eficiencia energética, ya que su comportamiento térmico, respecto de la misma calidad constructiva, y valores de transmitancia térmica de la envolvente exactamente iguales, mejora al reducirse la demanda energética por metro cuadrado, ya que su área de transmisión térmica es menor.

En todo caso, cada uno de los conceptos anteriormente expuestos son merecedores de algún reparo al presentar incongruencias que afectan al carácter mismo de su estimación. Una de ellas trata de la forma en que se evalúa la superficie de la envolvente térmica, al considerar que toda ella está en contacto con el aire exterior, sin establecer distinción entre las que verdaderamente los están de aquellas otras que quedan en contacto con el terreno o con otros edificios. Dado que las pérdidas energéticas de un edificio se cuantifican en función del tipo de ambiente exterior con el que contacte su envolvente (aire o terreno u otro edificio), lo razonable sería establecer un coeficiente de ponderación para cada una de estas superficies, en función de las perdidas energéticas que se producen a través de ella.

Otro de las posibles objeciones está en conocer si, dentro de la superficie de la envolvente térmica, se contabilizan las superficies de las particiones interiores que limitan los espacios habitables con los espacios no habitables que a su vez estén en contacto con el ambiente exterior, así como la superficie de las particiones interiores que limitan las unidades de uso con sistema de calefacción, con las zonas comunes del edificio no calefactadas.

El último de los reparos, y quizás el más relevante, es que estos coeficientes están planteados para evaluar las perdidas energéticas que se producen en el edificio, es decir, se vincula exclusivamente a los climas fríos ya que se distingue el mayor valor de la compacidad como indicativo de menor perdida de energía.

Por contra, se desprecia el concepto de compacidad en los climas cálidos, donde la mayor superficie de exposición de la envolvente térmica (menor índice de compacidad) favorece la disipación de calor desde el interior del edificio, colaborando en su enfriamiento. Es cierto que la ganancia de calor a través de la envolvente será mayor cuanto más grande sea la superficie de ésta, pero también es cierto que esta ganancia se puede mitigar mediante el correcto y adecuado diseño de la propia envolvente.



Louis Kahn y Oscar Stonorov. Casa Solar de Pennsylvania. Dibujo de Anne Thyng.

3.- DISEÑO METODOLÓGICO

En este capítulo se establecen los métodos de simulación informática necesarios para alcanzar los objetivos propuestos en esta fase del trabajo de investigación, que se centran en determinar, mediante procedimientos cuantitativos, las prestaciones energéticas de la envolvente térmica capaz de garantizar la alta eficiencia energética de edificios ubicados en climas desérticos cálidos, a la vez que unas condiciones de confort adaptativo óptimas en los recintos habitables de los mismos.

La predicción del comportamiento térmico y energético de edificios, mediante simulaciones informáticas, encierra una alta complejidad al abarcar conceptos multidisciplinares a la vez de operar con múltiples variables interdependientes.

Los precedentes de las sofisticadas herramientas de análisis energético de edificios que se disponen hoy en día, se sitúan en los EEUU a finales de los años 70, donde se desarrollaron los programas BLAST y DOE-2.

La herramienta más difundida, avanzada y confiable para la simulación ambiental y energética de los edificios es el software EnergyPlus, desarrollado por el Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE – U.S. Department of Energy). Esta herramienta está basada originalmente en las características y capacidades de BLAST y de DOE-2, pero incluye mejoras muy significativas respecto a ellos tales como pasos de tiempo menores que una hora, sistemas modulares y planta integrada con la simulación balance basada en zonas de uso. Junto a esto permite simular el flujo de aire multizonas, el confort higrotérmico, el uso del agua, la ventilación natural, y sistemas fotovoltaicos. Sin embargo se trata de una herramienta compleja y poco amigable, que para optimizar su uso requiere del operador una alta cualificación y dominio de materias tales como la física, las matemáticas la eficiencia energética, la construcción, el acondicionamiento ambiental, los sistemas de diseño pasivos, etc....

A pesar de las innumerables virtudes de EnergyPlus, lo singular de este software es que sólo posee un sistema de input y output de datos, sin una interfaz gráfica capaz de crear la geometría del edificio a simular. Su complejidad de manejo ha impedido una aceptación multitudinaria por parte de los técnicos, forzando a diferentes desarrolladores a ofrecer entornos "pasarela" con una interfaz gráfica más amigables, respetando el motor de cálculo original pero permitiendo una mayor simplicidad de uso, sin merma en la calidad de las prestaciones.

De entre los diferentes programas "pasarela" existentes destaca el software DesignBuilder, que ofrece una de las mejores y más completas interfaces gráficas para acceder a las funciones de EnergyPlus, proporcionando diferentes tipos de análisis, en régimen estacionario o dinámico. Las simulaciones en régimen dinámico ofrecen una detallada visión del funcionamiento ambiental y energético de los edificios, a partir de la definición de las condiciones ambientales exteriores detalladas hora a hora mediante un archivo de datos climáticos (Wheather Data).

Las herramientas de simulación energética funcionan siguiendo distintos métodos y/o modelos para los fenómenos de transferencia de calor y masa, en condiciones estáticas y dinámicas.

Antes de comenzar con el estudio de las simulaciones, es necesario describir los parámetros y datos necesarios para el desarrollo de una correcta simulación; estos parámetros son:

- Recopilación de la información básica necesaria para la simulación, formulando las condiciones iniciales (selección de la zona climática) y las condiciones de contorno del sistema (condiciones exteriores y condiciones internas de diseño).
- Configuración de la geometría de los recintos habitables, ya que estos interactúan de forma directa con el clima exterior debido a su orientación, a la superficie de su envolvente y al volumen que encierra.

- Fijar las ganancias internas por ocupación, iluminación y equipos instalados.
- Establecer los parámetros geométricos y termofísicos de la envolvente, igual que los demás parámetros o circunstancias señaladas, ya que esta determina la respuesta energética del edificio.
- Especificar las condiciones de confort del ambiente interior.
- Definir las condiciones de ventilación, natural y mecánica, así como los ratios de infiltración.

3.1.- ACOTACIÓN DE LA SIMULACIÓN

El comportamiento energético de los edificios es sumamente complejo, ya que interactúa constantemente con su entorno intercambiando, acumulando y cediendo calor según las condiciones climáticas exteriores. Su configuración formal y volumétrica, su orientación y ubicación geográfica, así como la distribución de sus espacios, las propiedades termofísicas de los materiales constitutivos aplicados (absortividad, emisividad, rugosidad, conductividad térmica, calor específico, densidad, etc...), y también el tamaño de los huecos, tipo de aislamiento aplicado, etc., son parámetros que intervienen sobre su comportamiento térmico y sobre las condiciones de confort interior, por lo que han de ser contemplados desde las fases iniciales del proyecto.

Más complejos son aún los métodos de cálculo para predecir el comportamiento térmico de los edificios, dada las múltiples variantes que inciden sobre el mismo. Por ello, cualquier trabajo de investigación riguroso debe acotar su campo de actuación para lograr las metas más avanzadas posibles respecto a las condicionantes de partida.

En aras de este rigor científico, en el presente trabajo de investigación se han establecido las siguientes acotaciones para la simulación energética:

- Los cálculos se realizarán por el método del balance de energía, para un espacio mono-zona, y en régimen transitorio horario, para las 8.760 horas del año.
- Las condiciones exteriores de proyecto se corresponden con la de una localidad con clima desértico cálido, según la clasificación climática de Köppen, y en particular al de las costas de las Islas Canarias, que se corresponde con el clima Alfa 3 del DB HE1 del CTE.
- Se considerará régimen de verano desde el 1 de junio al 31 de octubre. El resto del año se considerará régimen de invierno.
- Se considerará noche desde la hora 1 hasta la hora 8, ambas inclusive.
- En los datos climáticos se considera que el año no es bisiesto, por lo que el mes de febrero tiene 28 días.
- La velocidad del viento se considera constante a lo largo de todo el año, con un valor de 2,8 m/s.
- A efecto de obtener los valores de intensidad de la radiación solar, se considera que las envolventes siempre están soleadas, sin obstrucciones cercanas ni lejanas que produzcan sombra.
- Las superficies de las envolventes térmicas en contacto con el aire exterior son totalmente lisas y de color oscuro, absortancia igual a 0,90.
- Los recintos habitables carecen de sistemas de climatización mecánica, y se consideran vacíos, sin presencia de mobiliario, por lo que no se tendrá en cuenta la fracción de radiación solar que es absorbida por estos, ni intervienen en la radiación solar que accede a los espacios, ni modifica los intercambios radiantes entre las superficies interiores de los mismos.
- No se considera el efecto de los puentes térmicos en las transferencias de calor.
- Las propiedades termofísicas de los materiales que componen los cerramientos son constantes e independiente del tiempo.

- La carpintería se dispone a haces exteriores del cerramiento de fachada, con el objeto de considerar, exclusivamente, la influencia del factor de sombra del dispositivo móvil de sombreamiento, no considerándose las sombras producidas por cualquier dispositivo fijo de sombreamiento (retranqueos, aleros, etc....).
- En régimen de verano, la ventilación de los recintos interiores se realizará mediante ventilación natural en horario nocturno, entre la hora 1 y la hora 8, ambas inclusive. El resto de las horas del año, los recintos habitables se ventilan mediante un sistema mecánico de doble flujo (admisión y extracción de aire), que los usuarios pueden operar modificando tanto el caudal como la velocidad del aire.
- Se considera que, a través de la envolvente térmica opaca o semitransparente (huecos), se producen infiltraciones o exfiltraciones de aire.
- Al aplicarse el modelo de confort adaptativo, se asume que las temperaturas operativas situadas dentro de los límites de confort engloban la totalidad de las variables y parámetros que inciden sobre el bienestar térmico, entre ellas la humedad relativa.
- En régimen de invierno, se considerará dentro de la zona de confort toda aquella temperatura operativa que, encontrándose por debajo del límite inferior de confort adaptativo, tenga un valor igual o superior a los 20 °C.
- Las diferentes superficies de los elementos de los particiones interiores son adiabáticas.

3.2.- CONDICIONES DE CONTORNO

La caracterización física, geográfica, topográfica, climatológica o meteorológica, del lugar donde se ubica un edificio, determina su singularidad en relación al comportamiento energético del mismo.

La zona climática de proyecto es relevante en cuanto que podría hacer variar el resultado de la simulación, comprometiendo el trabajo de investigación. Al estudiar las posibles localizaciones es fácil deducir que existe más de una solución factible adecuada.

Para la parametrización del clima, recurrimos a variables atmosféricas, tales como la temperatura, la humedad, la presión, la precipitación, la insolación, y el viento entre los parámetros que viene a ser más usuales. En un segundo paso se suele recurrir a la evaporación, evapotranspiración, nubosidad, frecuencia de fenómenos especiales tales como las tormentas, las nieblas, temperaturas del subsuelo y otros. Y para profundizar en el conocimiento del clima, hemos de referirnos a sus factores: latitud, altitud, orientación, continentalidad y otros.

A efectos del estudio del clima, la elección de unos determinados elementos como básicos suele hacerse en función de las aplicaciones elegidas, pero no podemos estar seguros sean las idóneas para el conocimiento del clima. Hay otros elementos inherentes al estado físico del aire que no son considerados, unos conocidos y otros posiblemente solo de modo insuficiente. Los factores son permanentes y deben jugar un papel esencial en el estudio del clima. Los otros elementos son función del tiempo, lo que dificulta encontrar su perfil de invariancia. (Linés, 1999, p. 279).

El clima tiene un efecto importante en el rendimiento y el consumo energético de los edificios. El proceso de identificar, comprender y controlar las influencias climáticas, es quizás la parte más crítica del diseño de un edificio. Los objetivos fundamentales de diseño climático incluyen reducir el coste energético de un edificio, el uso de sistemas pasivo frente a sistemas mecánicos, y el proporcionar un ambiente cómodo y saludable a los usuarios.

Las estrategias de diseño pasivo pretenden proteger el ambiente interior de los posibles impactos de ciertos factores climáticos que se pueden dar, de forma favorable o desfavorable, en un determinado momento.

"Existe un gran paralelismo entre los factores ambientales interiores y los factores climáticos exteriores, que comparten similar denominación, aunque ambos puedan presentar importantes diferencias en la definición de sus contenidos". (Martín, 2006a, pg. 66)

Factores ambientales interiores	Factores climáticos exteriores
Temperatura del aire	Temperaturas del aire
Temperatura radiante media	Soleamiento e irradiación
Velocidad del aire	Viento
Humedad relativa	Humedad y pluviometría

Fig. 3.1 - Síntesis de paralelismo entre factores ambientales exteriores e interiores. Fuente: Martín, 2006a, p. 66.

Las condiciones internas de diseño se refieren a aquellas condiciones ambientales capaces de lograr, según premisas de proyecto, las condiciones de confort y comodidad deseables en el interior de los edificios. Las condiciones exteriores de proyecto son los datos de partida del diseño, para lo cual se deben describir las condiciones climáticas previsibles del ambiente exterior, según la ubicación del edificio, considerando los diferentes valores durante todo el año.

La aplicación de principios de diseño bioclimático en edificios, capaces de lograr la deseada calidad ambiental interior, debe basarse en el conocimiento de las variables climáticas del lugar donde se ubica, con la finalidad de realizar un análisis comparativo entre las variables climáticas previsibles y las condiciones ambientales interiores deseables.

Las interdependencias entre el clima y las invariantes geográficas y topográficas del lugar de ubicación, dificultan el estudio y análisis de las variables climáticas, siendo necesario recurrir a un examen específico para cada caso concreto. "En numerosas ocasiones puede llegar a ser realmente

complejo conocer el microclima de un lugar, debida a la ausencia de registros o por la dificultad de acceso a fuentes fiables de datos climatológicos; también hay que considerar los vectores del entorno que modifican el microclima de un lugar". (Martín, 2006a, pp. 66-67)

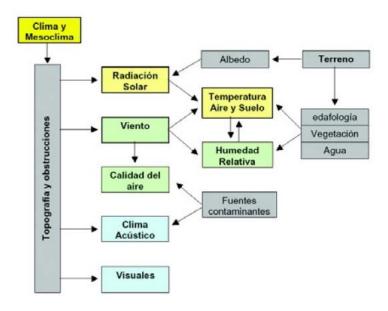


Fig. 3.2 - Vectores del entorno que modifican el microclima de un lugar. Fuente: Martín, 2006a, p. 67.

Las ciudades densamente edificadas tienen un microclima bastante más cálido y seco que sus alrededores, como consecuencia de fenómenos tales como la altitud, los usos del suelo, la intensidad del tráfico, la altura de las edificaciones, la anchura de las calles, etc... En las primeras horas de la mañana, las superficies urbanas (edificios, vías, calles, etc...) mantienen una temperatura inferior a la de su entorno circundante, por lo que aquellas emiten menos calor que éste.

Este fenómeno conocido como "isla de calor" o "isla térmica urbana", se debe a que, durante el día, la respuesta a la radiación solar es más lenta en la ciudad que en el campo y asimismo, a que la configuración morfología urbana (albedo de las superficies, capacidad térmica de materiales, ausencia de vegetación, etc...) posibilita la absorción y el almacenamiento de calor solar. "Durante la noche las situaciones se invierten: las zonas de la periferia se

enfrían más rápidamente que la ciudad; dentro de ella la liberación de calor es más lenta, asociada a su mayor inercia térmica". (Luxán, et al, 2009, pg. 39)

La aparición de la isla térmica urbana se debe, fundamentalmente, al comportamiento diferenciado de varios elementos, entre los que destacan: las acciones del viento en la ciudad, las características de las superficies urbanas y de las edificaciones, las zonas verdes, la densidad del tráfico y la contaminación aérea.

La altura, disposición y forma de los edificios crean pantallas que frenan el viento, reduciendo la disipación del calentamiento producido por la radiación solar y otras fuentes. Por el contrario, ciertos perfiles rectilíneos de las ciudades favorecen los efectos de canalización de los vientos, lo cual puede ser más o menos confortable, según los climas.

El predominio de superficies secas, impermeables y drenadas, dentro de los núcleos urbanos, impiden el enfriamiento del aire por la evaporación adiabática del agua, evitando la refrigeración del ambiente.

En las ciudades predominan los materiales compactos, de gran conductividad, y oscuros en los edificios y la urbanización (hormigón, asfalto...), y la geometría quebrada de calles y edificios aumenta la radiación solar, lo que conlleva un alto almacenamiento de calor durante el día y una lenta disipación durante la noche. Además, durante el día, la radiación reflejada por el suelo es absorbida por las fachadas verticales de los edificios, lo que aumenta las aportaciones de calor. (Bardou, 1980, pg. 17)

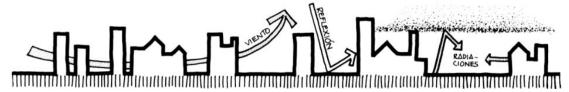


Fig. 3.3 - Fenómenos microclimáticos en una ciudad Fuente: Bardou, 1980, p. 17.

Las zonas verdes aparecen como espacios templados, frescos o fríos, según las características de la vegetación, tipo de acabados superficiales, densidad, etc. En contraste con los espacios con escasa presencia de masas vegetales, que se comportan de forma similar a las áreas edificadas, sin apenas contribuir a refrescar el ambiente.

La distribución de las "islas térmicas urbanas" dentro de las ciudades tiene relaciones significativas con la intensidad del tráfico y con la propia configuración de las vías urbanas. La disipación en forma de calor de toda la energía consumida en calles y edificios (electricidad, combustión, transporte...), puede ser varías veces superior a la radiación solar.

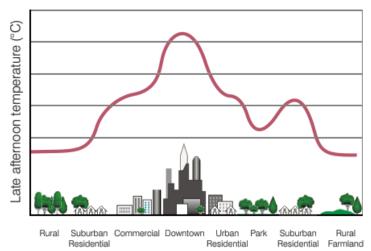


Fig. 3.4 - Fenómeno isla térmica urbana.

Fuente: "EUropean high quality Low Energy Building". http://www.new-learn.info/packages/euleb/es/glossary/index.html

La presencia de las "islas térmicas urbanas" puede significar una diferencia de temperatura de +2 °C a +6 °C entre el centro de las ciudades y sus alrededores, y diferencias aún mayores en invierno y por la noche.

Otro factor importante a considerar es la "historia del aire" que llega hasta un emplazamiento, puesto que dicha masa de aire se va calentando según recorre la ciudad con un incremento de temperatura que depende de la dirección del viento, de la distancia recorrida y de la densidad del área urbana atravesada. Los mayores calentamientos se producirán en días soleados y

con poco viento. En una ciudad como Las Palmas de Gran Canaria es muy interesante estudiar la "historia del aire" en su recorrido desde el mar hasta una parcela concreta. (Martín, 2006a, pg. 96)

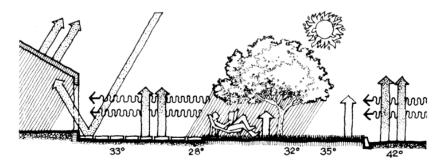


Fig. 3.5 - Modificación puntual de temperaturas según la "historia del aire" Fuente: Konya, 1981, p. 38.

3.2.1.-Condiciones externas de diseño

Se consideran condiciones externas de diseño a aquellas acciones que el clima ejerce sobre el edificio con consecuencias directas sobre su comportamiento térmico, y por ende, sobre su consumo energético final.

En la nueva versión del año 2013 del Documento Básico HE de "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, se fijan valores límite de consumo energético y de demanda energética en función de la ubicación de los edificios, estableciendo una serie de zonas climáticas, que representan las condiciones climatológicas de las distintas zonas de nuestro país. Este procedimiento no solo permite clasificar las condiciones del emplazamiento de los edificios (clima y lugar) con unas determinadas exigencias energéticas, sino que además permite compararlos con otros edificios ubicados en un contexto climático similar. Esta zonificación climática se mueve entre una mayor aproximación al clima específico de un lugar y un grado suficiente de generalidad que permita agrupar comportamientos que sean suficientemente parecidos.

En esta nueva versión del Documento Básico HE se mejora la definición de los climas de referencia respecto a la versión de 2006, de tal manera que cada

uno de ellos es más representativo de su zona climática. También se han introducido nuevos climas que vienen a representar mejor las condiciones climáticas de las Islas Canarias, el más significativo ha sido el clima Alfa 3, un clima exclusivo y específico de las costas de las Islas Canarias.

El clima de referencia define las solicitaciones exteriores de cálculo para un año tipo a través de una serie de parámetros (temperatura, humedad, radiación solar...), representativos de una zona climática. Los datos climáticos correspondientes a los climas de referencia se publican en formato .MET. Este formato se estructura en líneas de texto con campos separados por espacios y su organización es la siguiente:

- Primera línea con una cadena de texto identificativa del archivo de datos.
- 2. Segunda línea con datos de: latitud, longitud, altitud y longitud de referencia para el cálculo de la hora oficial.
- 3. Siguen 8760 líneas con datos horarios formados por los campos siguientes:
 - a) Mes (1 a 12);
 - b) Día (1 a 31);
 - c) Hora (1 a 24);
 - d) Temperatura seca (°C);
 - e) Temperatura efectiva del cielo (°C);
 - f) Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (W/m²);
 - g) Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (W/m²);
 - h) Humedad específica (kgH2O/kgaire seco);
 - i) Humedad relativa (%);
 - j) Velocidad del viento (m/s);
 - k) Dirección del viento (grados respecto al norte, E+, O-);
 - Azimut solar (grados);
 - m) Cénit solar (grados).

Entre los parámetros incluidos en los archivos climáticos, del comportamiento del "clima tipo" reglamentario, se consideran como determinantes los siguientes:

- a) la temperatura seca (°C)
- b) la humedad relativa (%)
- c) la Irradiancia solar global sobre plano horizontal (W/m²), obtenida como suma de las irradiancias directa y difusa sobre plano horizontal.

El resto de parámetros pueden, en función del nivel de modelización requerido y las necesidades del procedimiento de cálculo, tomarse de entre los datos aportados en el archivo .MET, o bien obtenerlos a partir de correlaciones de validez contrastada.

Es decir, pueden realizarse las siguientes simplificaciones:

- a) la temperatura no perturbada del suelo profundo puede tomarse igual a la temperatura seca media anual del aire;
- b) la presión atmosférica puede tomarse igual a 1 atm (101.325 kPa);
- c) la velocidad media del viento puede tomarse igual a 2,8 m/s.

En la nueva Herramienta Unificada, los climas de referencia van a pasar a aplicarse tanto para la justificación de los Documentos Básicos HE-0 y HE-1 del renovado DB HE (versión 2013) como en la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios.

A modo de ejemplo se incluye un fragmento de los datos recogidos en los archivos informáticos del clima de referencia Alfa 3.

Alfa	3_Cana	arias										
28	0,32	5001	-16,366	659	30	0000 1	5					
1	1	1	21,20	7,10	0	0	0,00929	59	1,10	83	0,00	90,00
1	1	2	20,60	6,50	0	0	0,00910	60	0,90	72	0,00	90,00
1	1	3	20,00	6,00	0	0	0,00921	63	1,00	69	0,00	90,00
1	1	4	19,30	5,30	0	0	0,00924	66	1,30	130	0,00	90,00
1	1	5	18,70	4,80	0	0	0,00930	69	0,80	83	0,00	90,00

Alfa 3_Canarias												
28	0,32	5001	-16,366	659	30	0000 1	5					
1	1	6	18,00	4,20	0	0	0,00955	74	1,00	72	0,00	90,00
1	1	7	17,40	3,70	0	0	0,00970	78	0,80	96	0,00	90,00
1	1	8	18,50	4,70	53	35	0,00973	73	1,40	57	-58,60	82,90
1	1	9	19,90	6,10	248	60	0,00974	67	1,30	79	-50,10	72,10
1	1	10	21,00	7,10	387	79	0,00965	62	3,50	118	-39,00	62,80
1	1	11	21,80	7,70	478	92	0,00931	57	3,30	50	-25,10	55,70
1	1	12	22,50	8,30	561	93	0,00920	54	3,30	91	-8,50	51,90
1	1	13	23,00	8,70	612	67	0,00895	51	4,00	100	8,50	51,90
1	1	14	23,30	9,00	551	59	0,00894	50	4,40	13	25,10	55,70
1	1	15	23,20	8,90	417	59	0,00888	50	4,00	55	39,00	62,80
1	1	16	22,80	8,60	227	76	0,00902	52	5,00	86	50,10	72,10
1	1	17	22,00	7,80	28	43	0,00909	55	4,00	36	58,60	82,90
1	1	18	21,50	7,40	0	0	0,00914	57	4,20	65	0,00	90,00
1	1	19	21,00	6,90	0	0	0,00917	59	2,80	52	0,00	90,00
1	1	20	20,50	6,40	0	0	0,00920	61	2,60	101	0,00	90,00
1	1	21	20,10	6,10	0	0	0,00927	63	2,10	114	0,00	90,00
1	1	22	19,60	5,60	0	0	0,00912	64	1,10	75	0,00	90,00
1	1	23	19,10	5,00	0	0	0,00898	65	0,80	85	0,00	90,00
1	1	24	18,60	4,40	0	0	0,00870	65	0,70	36	0,00	90,00

Tabla 3.1 - Datos del clima de referencia Alfa 3, del día 1 de enero del año tipo. Fichero .MET Fuente: Elaboración propia.

Condiciones climáticas de proyecto. Valores para la simulación:

En este trabajo de investigación se han empleado, como fuente de información, los registros climáticos correspondientes al clima de referencia Alfa 3 de Canarias en formato EPW (EnergyPlus Weather Data File). Estos ficheros se han generado a partir de los ficheros BIN de la nueva herramienta unificada para la justificación de los Documentos Básicos HE-0 y HE-1 del CTE, y se diferencian de los publicados en formato .MET en la página web del CTE, entre otras cosas, en la velocidad de viento, a la que se le ha incluido el valor 2,8 m/s como velocidad de viento constante durante todo el año, tal como permite el "Documento descriptivo climas de referencia", publicado por la Dirección General de Arquitectura, Vivienda y Suelo. Ministerio de Fomento,

Septiembre 2013. (Campos, 2014, http://www.ecoeficiente.es/climas-cte2013-en-epw/).

Temperatura seca:

La temperatura de bulbo seco, o simplemente temperatura seca, mide la temperatura del aire sin considerar factores ambientales como la radiación, la humedad o el movimiento del aire, los cuales tienen el potencial de afectar significativamente la sensación térmica. En la siguiente tabla se recogen los valores correspondientes a la temperatura seca del clima de referencia Alfa 3 de Canarias.

Mes	Ө меd	θмin	Ө мах	θ _{Med,min}	θ _{Med,max}
Enero	17,27	6,70	18,90	15,06	18,71
Febrero	17,52	8,30	20,00	15,00	19,49
Marzo	18,46	8,30	22,20	15,55	20,94
Abril	18,67	10,60	23,30	15,44	21,55
Mayo	20,14 °C	9,40 °C	24,40 °C	16,83 °C	22,97 °C
Junio	20,89 °C	11,10 °C	25,60 °C	17,34 °C	23,86 °C
Julio	24,20 °C	13,30 °C	30,00 °C	20,33 °C	27,58 °C
Agosto	24,36 °C	13,30 °C	28,90 °C	20,79 °C	27,31 °C
Septiembre	22,84 °C	12,20 °C	25,60 °C	20,07 °C	24,87 °C
Octubre	22,15 °C	11,10 °C	24,40 °C	19,43 °C	24,13 °C
Noviembre	20,12 °C	10,60 °C	23,30 °C	17,41 °C	22,50 °C
Diciembre	17,70 °C	7,20 °C	18,90 °C	15,78 °C	18,76 °C
Anual	20,38 °C	6,70 °C	30,00 °C	17,41 °C	22,74 °C

Tabla 3.2 - Temperatura seca anual, en base mensual, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Tabla obtenida con Dview

Leyenda:

 θ_{Med} Temperatura media mensual/anual (°C)

 θ_{Min} Media mensual/anual de las temperaturas mínimas diarias (°C)

θ_{Max} Media mensual/anual de las temperaturas máximas diarias (°C)

θ_{Med,min}Media mensual/anual de las temperaturas mínimas más bajas (°C)

θ_{Med,max} Media mensual/anual de las temperaturas máximas más altas (°C)

El clima desértico cálido de las costas de las Islas Canarias se caracteriza por tener inviernos suaves con un promedio de temperaturas máximas de 20 °C, un promedio de temperaturas medias de 18 °C y un promedio de temperaturas mínimas de 16 °C. De esta manera, la temperatura máxima absoluta en la época invernal es de 23 °C, lo que tiene lugar los días 8, 9, 10 11, 12, 16, 19 y 20 de noviembre, mientras que la temperatura mínima absoluta invernal es de 7 °C, y acontece el día 25 de diciembre.

Los veranos son calurosos, con un promedio de temperaturas máximas de 24 °C, un promedio de temperaturas medias de 22 °C y un promedio de temperaturas mínimas de 20 °C. De esta manera, la temperatura máxima absoluta en la época estival es de 30 °C, lo que tiene lugar los días 21 y 29 de julio, mientras que la temperatura mínima absoluta estival es de 9 °C, y acontece los días 12 de enero y 25 de diciembre.

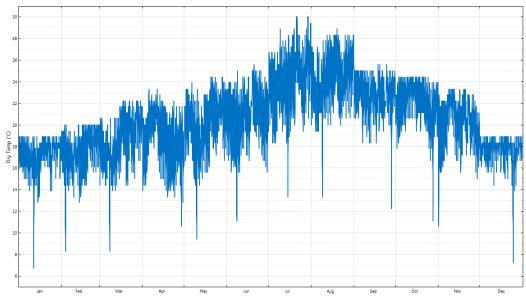


Fig. 3.6 - Temperatura seca anual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

Un 46% de las horas del año, la temperatura seca exterior permanece entre los 7 °C y los 20 °C; un 37% entre los 20 °C y los 24 °C y el 17% restante del tiempo permanece entre los 24 °C y los 30 °C.

Posee una amplitud térmica media anual moderada, en torno a los 13 °C y una amplitud térmica diaria media de 11 °C en los meses de invierno y de 14 °C en la época estival.

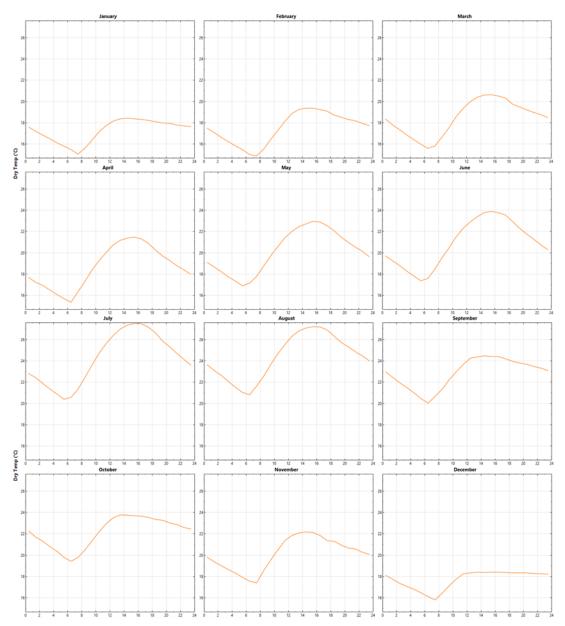


Fig. 3.7 - Temperatura seca mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

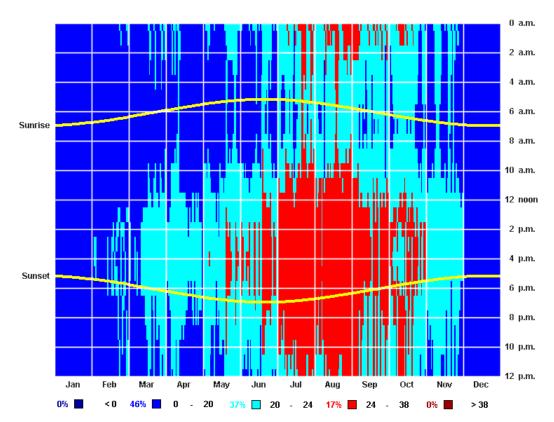


Fig. 3.8 - Temperatura seca mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Climate Consultant.

Humedad relativa:

La cantidad de vapor de agua presente en la atmósfera depende del clima y varía considerablemente de un lugar a otro del planeta, fluctuando entre el 0 y el 4% en volumen de aire seco. El vapor de agua de la atmósfera estará casi siempre concentrado en las capas bajas de la troposfera y normalmente, alrededor del 50% del contenido total se encuentra por debajo de los 2.000 metros.

La humedad es el término usado para describir la cantidad de vapor de agua en el aire. El vapor de agua entra en la atmósfera por los procesos de evaporación que resultan del calentamiento del agua presente en el planeta (océanos, mares, lagos, ríos, etc....) y por los procesos de transpiración de las plantas.

Cada temperatura del aire posee un límite máximo en la cantidad de vapor de agua que puede contener hasta alcanzar su punto de saturación, superado este límite, el agua presente en la atmósfera condensará.

En condiciones normales el aire esta subsaturado. La saturación puede alcanzarse aumentando el vapor en el aire (humidificación) o disminuyendo la temperatura (enfriamiento). Si se excede del límite de vapor que puede contener el aire se dice que está sobresaturado de humedad, el exceso de vapor se condensa para convertirse en niebla o nubes.

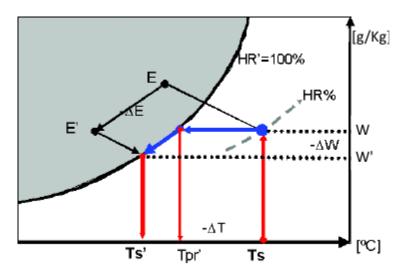


Fig. 3.9 - Enfriamiento del aire con condensación.

Fuente: Martín, 2006a, p. 30.

El vapor de agua presente en la atmósfera se suele expresar en valores de **humedad relativa** Φ (%), ya que dicho parámetro influye directamente en la percepción térmica, o más técnicamente como **humedad absoluta** ω (gramos de Vapor / Kg de Aire) o su equivalencia como **presión de vapor** Pv (Hpa = mbar), los cuales veremos a continuación:

La **humedad relativa** (Φ) es la relación que existe entre la cantidad de vapor de agua que contiene la masa de aire y la que contendría manteniendo la misma temperatura y presión si la masa de aire estuviese saturada.

Mientras que los valores de humedad absoluta, o presión de vapor, se mantienen prácticamente constantes en ciclos de 24 horas, la humedad relativa puede variar, aunque su contenido de vapor de agua permanezca constante, ya que depende de la temperatura del aire en cada instante. Este es el motivo de que la humedad relativa obtenga valores máximos justo después del amanecer, cuando la temperatura del aire alcanza su valor mínimo, vaya disminuyendo a medida que aumenta la temperatura del aire, y sea mínima unas horas después del mediodía, cuando la temperatura del aire alcanza su valor máximo.

$$\Phi = 100 \cdot P_v / P_{sat}$$
 [3.01]

Leyenda:

Φ Humedad relativa (%)

P_v Presión parcial de vapor de agua (Pa)

P_{sat} Presión de saturación a la misma temperatura (Pa)

La humedad absoluta (ω) es el peso del vapor de agua existente por unidad de volumen de aire seco, varía con la temperatura, y normalmente se expresa en gramos de vapor de agua por metro cúbico de aire.

$$\omega = 0.62195 \cdot P_{v} / (P \cdot P_{v})$$
 [3.02]

Leyenda:

 ω $\,$ Humedad absoluta (Kg de vapor de agua por Kg de aire seco) $\,$

P_v Presión parcial de vapor de agua (Pa)

P Presión atmosférica de la localidad de proyecto (Pa). P = 101.324,72 Pa a nivel del mar El factor 0,62195 es el cociente de los pesos moleculares del agua (18,015 g/ mol) y aire seco (28,965 g/mol)

La presión atmosférica es la suma de las presiones parciales de cada uno de los gases que la constituyen; a la parte de la presión atmosférica total ejercida por el vapor de agua contenido en la atmósfera se le denomina **presión parcial del vapor de agua (Pv)**.

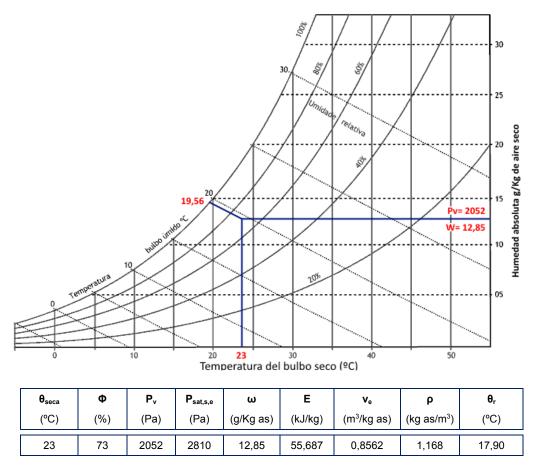


Fig. 3.10 -Propiedades del aire exterior en las costas de las Islas Canarias el 21 de Junio, para una presión atmosférica de 101.325 Pa y 0 m de a.s.n.m.

Fuente: Elaboración propia.

Leyenda:

P_v Presión parcial de vapor de agua

Psat,s,e Presión de saturación del aire seco exterior

P_{sat,h,e} Presión de saturación del húmedo exterior

Φ Humedad relativa

ω Humedad absoluta

E Entalpía

ve Volumen específico del aire seco

ρ Densidad del aire seco

θ_r Temperatura de rocío (saturación)

Para cualquier valor de la temperatura, la atmósfera solo puede contener una cierta cantidad de vapor de agua, cuanto más caliente esté el aire, mayor cantidad de vapor de agua contendrá, mientras que cuanto más frio se encuentre, menos vapor de agua tendrá.

Las moléculas de agua están en continuo flujo entre las fases liquida y gaseosa. Durante la evaporación, más moléculas de agua pasan para la fase de vapor que las que retornan a la fase liquida; durante la condensación, más moléculas de agua retornan a la fase liquida que las que entran en la fase de vapor. Eventualmente se alcanza un estado de equilibrio dinámico, en el cual las moléculas de agua pasan con la misma velocidad para la fase liquida y para la fase de vapor. En este estado, la presión ejercida por el vapor de agua se denomina **presión de vapor de saturación**, que sólo es función de la temperatura absoluta θ .

En la siguiente tabla se recogen los valores correspondientes a la humedad relativa del clima de referencia Alfa 3 de Canarias.

Mes	HR _{Med}	HRмin	HR _{Max}	HR _{Med,min}	HR _{Med,max}
Enero	72,91 %	43,00 %	94,00 %	64,81 %	84,90 %
Febrero	69,50 %	43,00 %	90,00 %	60,58 %	83,06 %
Marzo	67,21 %	47,00 %	91,00 %	56,06 %	80,45 %
Abril	70,28 %	45,00 %	91,00 %	58,16 %	83,87 %
Mayo	68,96 %	39,00 %	91,00 %	56,71 %	82,68 %
Junio	73,46 %	41,00 %	99,00 %	60,71 %	87,42 %
Julio	65,43 %	35,00 %	90,00 %	52,42 %	79,97 %
Agosto	67,28 %	40,00 %	91,00 %	55,48 %	81,32 %
Septiembre	73,83 %	49,00 %	96,00 %	64,16 %	85,68 %
Octubre	71,83 %	44,00 %	95,00 %	61,90 %	84,68 %
Noviembre	73,48 %	43,00 %	96,00 %	62,29 %	86,81 %
Diciembre	78,95 %	50,00 %	97,00 %	72,61 %	90,19 %
Anual	69,50 %	43,00 %	90,00 %	60,58 %	83,06 %

Tabla 3.3 - Datos de humedad relativa, en base mensual, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Tabla obtenida con Dview.

En invierno, la humedad relativa alcanza un promedio máximo del 82%, un promedio de humedad relativa media del 73%, y un promedio de humedad relativa mínima del 64%. De esta manera, la humedad relativa máxima absoluta en la época invernal es del 97%, lo que tiene lugar el día 4 de diciembre, mientras que la humedad relativa mínima absoluta invernal es del 7%, y acontece el día 25 de diciembre.

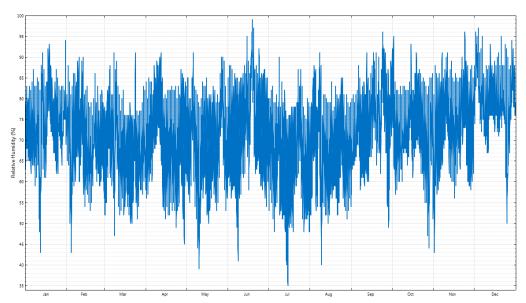


Fig. 3.11 - Humedad relativa anual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

En verano, la humedad relativa alcanza un promedio máximo del 81%, un promedio de humedad relativa media del 71%, y un promedio de humedad relativa mínima del 59%. De esta manera, la humedad relativa máxima absoluta en la época estival es del 99%, lo que tiene lugar el día 19 de junio, mientras que la humedad relativa mínima absoluta invernal es del 9%, y acontece el día 10 de mayo.

Un 68% de las horas del año, la humedad relativa exterior permanece entre el 60% y el 80%; un 19% permanece por encima del 80% y el 13% restante del tiempo permanece entre el 40% y el 60%.

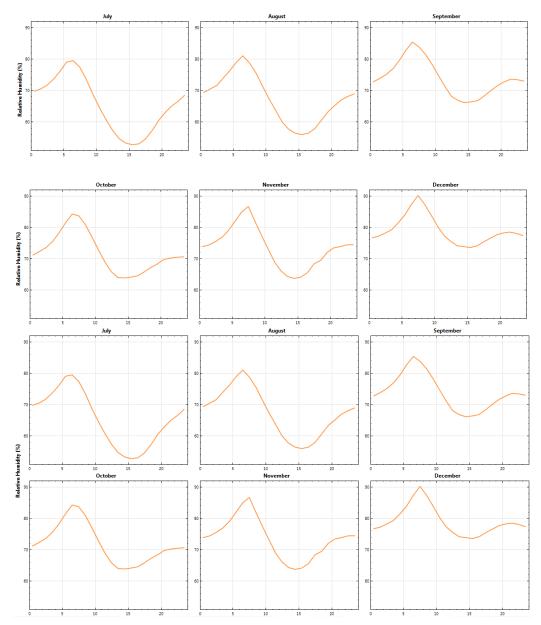


Fig. 3.12 - Humedad relativa mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

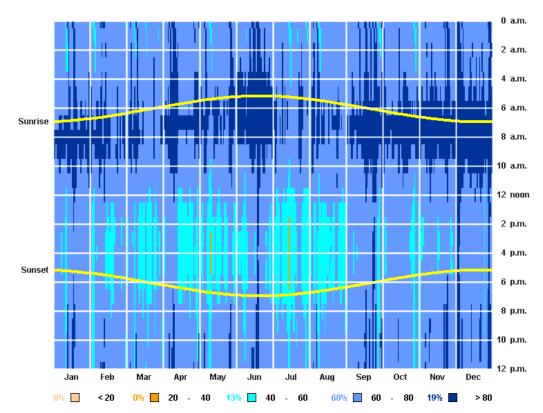


Fig. 3.13 - Humedad relativa mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Climate Consultant.

Irradiancia solar global sobre plano horizontal:

La radiación global horizontal se define como la radiación solar recibida de un ángulo sólido de 2π estereorradianes (equivalente tridimensional del radián) sobre una superficie horizontal. La radiación global incluye la recibida directamente del disco solar y también la radiación celeste difusa dispersada al atravesar la atmósfera.

Dicha suma se puede expresar de la siguiente manera:

$$G_{globHor} = G_{dirHor} + G_{difusa}$$
 [3.03]

En la siguiente tabla se recogen los valores correspondientes a la Irradiancia Global horizontal del clima de referencia Alfa 3 de Canarias.

Mes	G_{Med}	G_{Min}	G _{,Max}	G _{Med,min}	G _{Med,max}
Enero	154,34	0,00	798,00	0,00	618,06
Febrero	188,22	0,00	958,00	0,00	704,32
Marzo	223,73	0,00	1.063,00	0,00	771,68
Abril	258,39	0,00	1.110,00	0,00	861,90
Mayo	279,82	0,00	1.145,00	0,00	899,39
Junio	297,28	0,00	1.104,00	0,00	889,65
Julio	295,42	0,00	1.113,00	0,00	898,71
Agosto	266,15	0,00	1.145,00	0,00	877,71
Septiembre	217,32	0,00	1.176,00	0,00	806,61
Octubre	202,55	0,00	924,00	0,00	757,35
Noviembre	164,57	0,00	757,00	0,00	645,48
Diciembre	143,94	0,00	712,00	0,00	591,06
Anual	224,50	0,00	1.176,00	0,00	777,68

Tabla 3.4 - Datos de Irradiancia Global horizontal ($W \cdot h/m^2$), en base mensual, del clima de referencia Alfa 3

Fuente: Elaboración propia. Tabla obtenida con Dview

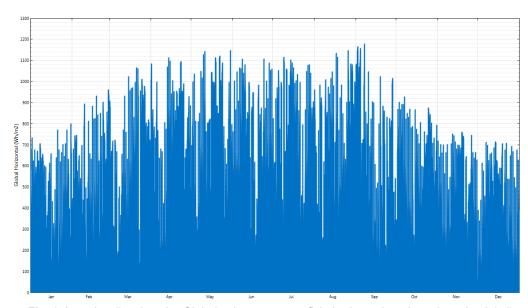


Fig. 3.14 - Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3

Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview

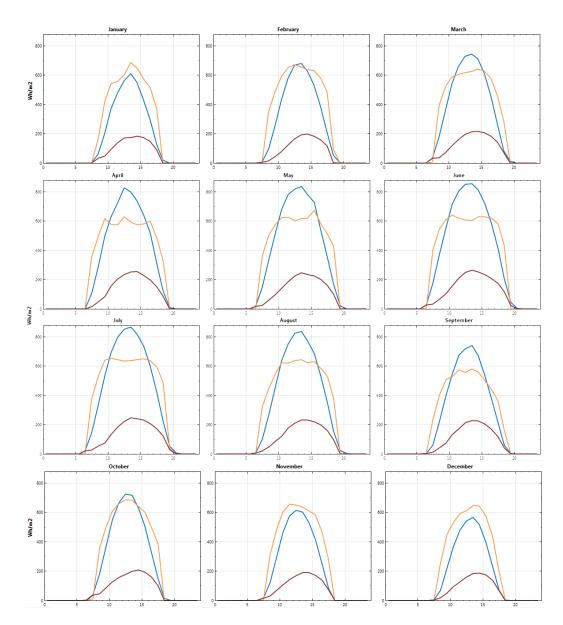


Fig. 3.15 - Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal (azul); Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (naranja) e Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (granate), en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

En invierno, la radiación global sobre un plano horizontal, alcanza un promedio máximo de 517 W·h/m², un promedio medio de 356 W·h/m², y un promedio mínimo de 140 W·h/m². La radiación global sobre un plano horizontal máxima absoluta en la época invernal es de 988 W·h/m², y sucede el día 7 de julio, mientras que la mínima absoluta invernal es de 3 W·h/m², y sucede los días 8 de junio, 22 de julio y 7 y 25 de agosto.

En verano, la radiación global sobre un plano horizontal, alcanza un promedio máximo de 624 W·h/m², un promedio medio de 433 W·h/m², y un promedio mínimo de 147 W·h/m². La radiación global sobre un plano horizontal máxima absoluta en la época invernal es de 1.194 W·h/m², y sucede el día 7 de septiembre, mientras que la mínima absoluta invernal es de 1 W·h/m², y sucede los días 10 y 14 de abril, 18 de junio, 17 de julio y 4 de septiembre.

Un 23% de las horas del año, la radiación solar sobre un plano horizontal permanece por encima de los 474 W·h/m²; un 10% permanece entre los 4 W·h/m² y los 150 W·h/m², un 8% permanece entre los 158 W·h/m² y los 316 W·h/m², y el 7% restante del tiempo permanece entre el 316 W·h/m² y los 474 W·h/m².

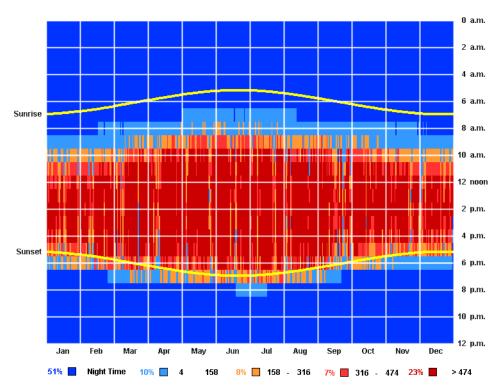


Fig. 3.16 - Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3

Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Climate Consultant

• Dirección y velocidad de los vientos:

El viento, debido a su incidencia en los intercambios térmicos y tasas de ventilación entre los recintos habitables y el ambiente exterior, adquiere una enorme relevancia debido a su impacto directo en el confort térmico.

El flujo de aire inducido por la velocidad y dirección del viento (presión y succión) puede tener enormes consecuencias a la hora de implementar determinadas estrategias bioclimáticas orientadas al enfriamiento pasivo de los recintos habitables de los edificios.

Los parámetros básicos que determinan las condiciones del viento, en un determinado lugar, son su velocidad y su dirección. Por ello, resulta imprescindible conocer y estudiar ambos parámetros si se desea establecer estrategias bioclimáticas adecuadas, aprovechando el viento como recurso de enfriamiento pasivo en los climas desérticos cálidos.

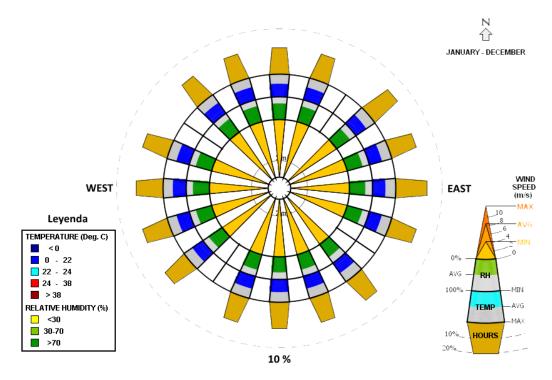


Fig. 3.17 - Frecuencia, dirección, velocidad, temperatura y humedad relativa de los vientos, en base horaria. del clima de referencia Alfa 3

Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Climate Consultant

En la Figura 3.17 se representa algo más que una rosa de los vientos, ya que en ella se muestra una serie de diferentes variables que interactúan entre sí. El circulo más externo (color marrón) muestra el porcentaje de horas de la dirección del viento, representados en los 36 sectores en que se divide la circunferencia del horizonte. En el siguiente anillo (color azul), la altura y el color de las barras radiales muestra la temperatura media del viento que viene en cada dirección (si el color es azul claro, se considera en la zona de confort). El siguiente anillo (color verde), se muestra la humedad relativa media del aire (si el color es verde claro, se considera aceptable). Los tres triángulos en el círculo más interno muestran la velocidad máxima (color naranja intenso), media (color naranja medio) y mínima (color amarillo), de los vientos para cada una de las distintas direcciones. En este caso, se representa un solo triángulo, de color amarillo, al resultar constante la velocidad del viento en todas las direcciones.

Esta homogeneidad tanto de la velocidad, como de la dirección del viento, se han implementado en el fichero de referencia Alfa 3.bin, representativo de la zona climática de las costas de las Islas Canarias, exclusivamente a efectos de cumplimientos normativos (Ahorro de energía y calificación energética),. La velocidad del viento es constante a lo largo del año, con un valor fijo de 2,8 m/s (Ministerio de Fomento, 2013, pg. 4), manteniéndose constante también la frecuencia en la dirección del viento a lo largo del año, con un porcentaje promedio del 12,50 %, en las direcciones principales en la que se divide la circunferencia del horizonte, tal y como puede observar en la Figura 3.18.

Esta caracterización del viento no se corresponde con las condiciones reales de los vientos predominantes en las Islas Canarias, los cuales tienen una dirección dominante del NorNoreste, coincidente con los vientos alisios, y un rango de velocidades medias anuales entre los 6,5 y 7,5 m/s.

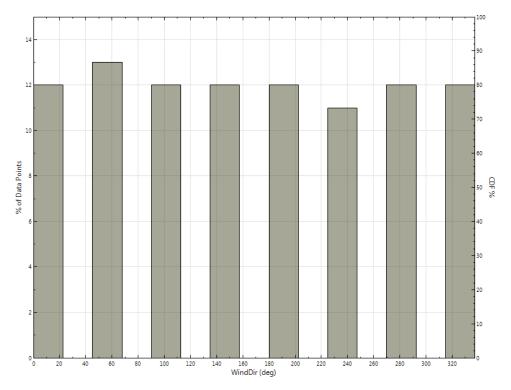


Fig. 3.18 - Frecuencia de los vientos, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3 Fuente: Elaboración propia. Gráfica obtenida con Dview.

En la Figura 3.18 se aprecia que, a excepción de las orientaciones Noreste, Sureste y Noroeste, en el resto de las direcciones en que se divide la circunferencia del horizonte, el viento mantiene una frecuencia media del 12% en cada una de ellas, con una temperatura media de entre 20 °C y 24 °C y una humedad relativa de entre el 30% y el 70%.

3.2.2.-Condiciones internas de diseño

La metodología establecida en el presente trabajo de investigación, para obtener el rango de temperatura operativa interior de los recintos habitables, se ha basado en el procedimiento establecido en el apartado A.2 "Temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico", del Anexo A (informativo), de la norma UNE-EN 15251:2008: "Criterios recomendados para el ambiente térmico".

A.- Cálculo de la temperatura promedio de funcionamiento:

La temperatura promedio de funcionamiento (θ_{rm}) es la media exponencialmente ponderada de la temperatura del aire exterior media diaria (θ_{ed}), que se calcula a partir de la siguiente fórmula:

$$\theta_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \{ \theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{ed-2} + \alpha^2 \cdot \theta_{ed-3} + \dots \}$$
 [3.04]

Esta ecuación puede simplificarse a:

$$\mathbf{\theta}_{rm} = (1 - \alpha) \cdot \theta_{ed-1} + \alpha \cdot \theta_{rm-1}$$
 [3.05]

Donde:

 θ_{rm} es la temperatura promedio de funcionamiento del día de hoy, en °C

 $\theta_{\text{rm-1}}$ es la temperatura promedio de funcionamiento del día anterior, en °C

 $\theta_{\text{ed-1}}\,$ es la temperatura promedio exterior diaria del día anterior, en °C

θ_{ed-2} es la temperatura promedio exterior diaria del día anterior, y así sucesivamente, en °C

α es una constante entre 0 y 1. Se recomienda usar 0,8.

Las temperaturas exteriores diarias de los días anteriores al día de proyecto influyen en la adaptación de los usuarios al ambiente, entre otras cuestiones, en la elección de la vestimenta que llevarán el día en cuestión. De aquí, la relevancia de ponderar la temperatura exterior de funcionamiento del día de proyecto respecto a la temperatura de los siete días precedentes.

En el caso de que no se disponga de los informes del promedio de aire de la temperatura exterior puede emplearse la siguiente ecuación aproximada:

$$\theta_{rm} = (\theta_{ed-1} + 0.8 \cdot \theta_{ed-2} + 0.6 \cdot \theta_{ed-3} + 0.5 \cdot \theta_{ed-4} + 0.4 \cdot \theta_{ed-5} + 0.3 \cdot \theta_{ed-6} + 0.2 \cdot \theta_{ed-7})/3.8$$
 [3.06]

Las temperaturas promedio exterior diaria (θ_{rm}) de los siete días anteriores a cada uno de los días de proyecto (θ_{ed-x}), se ha obtenido para cada uno de los 365 días del año del fichero climático de referencia, asignándole a los siete primeros días del mes de enero, los siete días anteriores correspondientes al mes de diciembre.

Los datos obtenidos se exponen en la siguiente tabla:

		Ten	nperatur	a exter	ior pro	medio (de func	ionami	ento (θ	rm)		
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	21,32	10,77	24,00	16,77	25,64	19,99	27,67	27,47	19,84	24,46	18,72	20,77
2	21,63	13,01	23,45	17,72	25,21	20,55	27,06	27,00	21,30	24,05	19,24	21,32
3	21,67	14,85	23,36	18,64	25,19	21,83	26,97	26,73	22,67	23,68	19,96	21,32
4	21,58	16,11	22,93	18,90	25,21	22,28	26,93	26,20	23,30	23,49	20,21	21,50
5	21,63	12,95	22,15	19,44	24,84	22,47	26,79	25,50	24,55	23,89	20,62	21,73
6	21,62	14,76	21,82	20,67	24,73	23,13	26,08	25,45	25,29	24,26	21,38	21,75
7	21,37	16,03	21,86	18,21	24,89	19,19	25,85	25,56	21,41	24,50	18,01	21,72
8	21,37	20,77	21,19	23,41	24,45	24,44	25,31	24,81	26,72	24,54	23,02	21,70
9	21,20	20,57	20,67	23,65	24,26	24,17	25,60	24,78	26,50	24,64	23,40	21,73
10	20,98	20,36	20,39	23,85	23,85	24,03	26,20	24,62	26,27	25,16	24,05	21,74
11	20,82	19,98	20,27	24,40	23,25	23,77	26,17	24,65	26,05	25,87	24,72	21,77
12	20,75	20,48	20,51	25,21	23,32	24,16	26,28	25,28	25,44	26,39	25,33	21,54
13	20,01	20,44	20,73	24,91	22,92	23,97	26,14	25,54	25,07	26,59	25,27	21,58
14	20,00	20,73	20,87	24,63	22,57	24,42	26,49	25,47	24,52	26,78	24,83	21,68
15	19,92	20,36	20,76	24,23	22,22	24,12	26,32	25,99	25,05	26,63	24,56	21,81
16	19,65	20,18	21,26	23,82	22,57	24,44	26,05	25,92	25,01	26,66	24,79	21,78
17	19,65	20,46	21,63	23,83	22,64	24,74	25,73	26,11	24,76	26,72	24,85	21,83
18	19,98	20,80	22,49	23,53	23,11	24,84	25,68	26,45	24,13	26,49	24,66	21,76
19	19,79	20,85	22,94	22,75	22,78	24,72	26,00	27,12	24,67	26,34	24,22	21,81
20	20,65	21,07	23,30	22,19	23,26	25,92	26,40	27,62	24,93	26,01	24,32	21,82
21	20,93	21,02	23,13	21,94	24,02	26,00	26,01	27,92	25,24	26,00	24,94	21,89
22	20,99	21,51	22,97	21,76	25,04	26,48	27,11	27,47	25,21	26,04	25,26	21,79
23	21,23	22,01	23,30	21,75	25,08	26,70	28,16	27,06	25,01	25,78	25,59	21,77
24	21,55	22,23	23,75	21,75	25,31	26,56	28,45	26,95	24,51	25,53	25,68	21,75
25	21,39	22,14	23,64	21,53	25,29	26,60	28,57	27,13	25,49	25,46	25,40	21,40
26	21,20	22,26	23,43	21,52	25,55	27,12	28,26	27,36	25,42	25,08	25,63	20,73
27	21,31	22,35	22,90	21,79	26,10	26,60	27,47	26,93	25,32	25,04	25,55	20,77
28	21,39	22,54	23,21	21,94	26,13	26,24	28,30	26,76	25,43	24,83	25,09	20,68
29	21,31		23,97	21,96	26,16	25,90	28,04	26,69	24,93	24,39	24,77	20,78
30	21,41		23,90	21,65	26,15	25,54	28,03	26,72	24,94	24,33	24,39	20,94
31	21,28		23,75		25,76		27,67	26,93		24,56		20,96
Min	19,65	10,77	20,27	16,77	22,22	19,19	25,31	24,62	19,84	23,49	18,01	20,68
Max	21,67	22,54	23,97	25,21	26,16	27,12	28,57	27,92	26,72	26,78	25,68	21,89

Tabla 3.5 - Datos de la Temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}) , en base diaria, del clima de referencia Alfa 3.

La UNE-EN 15251, establece que el modelo de confort adaptativo es aplicable cuando los valores de la Temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}) se encuentre en el intervalo entre los 10 °C y los 30 °C.

B.- Cálculo de la temperatura operativa recomendada (θ_0):

Una vez determinadas las temperaturas promedio exterior diarias, se procede a calcular, para cada una de las 8.760 horas del año, la temperatura operativa interior (θ_0) recomendada, mediante la siguiente ecuación:

$$\theta_{\rm o} = 0.33 \cdot \theta_{\rm rm} + 18.80 \, (^{\circ}{\rm C})$$
 [3.07]

Los límites superior $(\theta_{i,máx})$ e inferior $(\theta_{i,mín})$ de la temperatura operativa interior se establecen en función de los criterios de las categorías del ambiente interior elegidos:

Categoría	Explicación	Límites de la Temperatura operativa interior (°C)		
1	Alto nivel de espectativa, recomendado para espacios ocupados por personas débiles y sensibles con requisitos especiales, como	Superior	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 2$	
-	disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos	Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o - 2$	
II	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios	Superior	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 3$	
ll ll	nuevos y renovados	Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o -3$	
III	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse e		$\theta_{i,máx} = \theta_o + 4$	
III	edificios ya existentes	Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o -4$	

Tabla 3.6 - Límites superior $(\theta_{i,máx})$ e inferior $(\theta_{i,mín})$ de la temperatura operativa interior en función de los criterios de las categorías del ambiente interior. UNE-EN 15251.

Fuente: Elaboración propia.

Para cada uno de los valores diarios de la temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}), correspondiente a cada uno de los 365 días del año, para un nivel normal de expectativa (categoría del ambiente interior II), aplicando la ecuación [3.07], y para una velocidad del aire interior de 0,3 m/s, se ha obtenido la temperatura operativa interior (θ_o) recomendada, así como sus límites superior ($\theta_{i,máx}$) e inferior ($\theta_{i,mín}$), los cuales figura en el siguiente gráfico:



Fig. 3.19 - Temperatura Operativa de confort (θ_o) , color verde. Límite superior de la Temperatura Operativa de confort $(\theta_{i,máx})$, en color rojo, y Límite inferior de la Temperatura Operativa recomendada $(\theta_{i,mín})$, en color azul. Calculada para una velocidad del aire interior igual a 0.3 m/s.

En el Anexo A2 "Temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico", del proyecto de norma prEN 15251:2014 (CEN/TC 156WG19-N80), se prevé introducir varios cambios respecto al modelo de confort adaptativo de la UNE-EN 15251, y entre otros, se destacan los siguientes:

a) Modificación del límite inferior de la temperatura operativa interior:

Se establecen en función de los criterios de las categorías del ambiente interior elegidos, aumentándose un grado la diferencia del límite inferior respecto de la temperatura operativa de confort, quedando como sigue:

Categoría	Explicación	Límites de la Temperatura operativa interior (ºC)				
		Límite	UNE-EN 15251	prEN 15251		
ı	Alto nivel de espectativa, recomendado para espacios ocupados por personas	Superior	$\theta_{i,máx} = \theta_{o} + 2$	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 2$		
	débiles y sensibles con requisitos especiales, como disminuidos, enfermos, niños muy pequeños y ancianos	Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o - 2$	$\theta_{i,min} = \theta_o -3$		

Categoría	Explicación	Límites de la Temperatura operativa interior (°C)			
		Límite	UNE-EN 15251	prEN 15251	
	Nivel normal de expectativa; debería utilizarse para edificios nuevos y renovados	Superior	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 3$	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 3$	
li li		Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o -3$	$\theta_{i,min} = \theta_o - 4$	
	Aceptable y moderado nivel de expectativa; puede utilizarse en edificios ya existentes	Superior	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 4$	$\theta_{i,máx} = \theta_o + 4$	
III		Inferior	$\theta_{i,min} = \theta_o -4$	$\theta_{i,min} = \theta_o -5$	

Tabla 3.7 - Límites superior (θ_{i,máx}) e inferior (θ_{i,mín}) de la temperatura operativa interior en función de los criterios de las categorías del ambiente interior. Comparativa de valores entre la Norma UNE-EN 15251 y el proyecto de Norma prEN 15251.

b) Velocidad del aire interior:

Se prevé que, en aquellos edificios o espacios habitables que cuenten con un sistema de ventilación mecánica, se permita un incremento del límite superior de la temperatura interior de confort ($\Delta\theta_0$), siempre que dicho sistema cuente con un dispositivo que permita su control, de forma precisa y continua, por parte de los usuarios. El valor de la corrección depende del rango de velocidad de aire con que cuente el sistema de ventilación mecánica.

Los rangos de incremento del límite superior de la temperatura de la temperatura interior de confort, se establecen en:

Velocidad media del aire (Va)						
0,6 m/s 0,9 m/s 1,2 m/s						
1,20 °C	1,80 °C	2,20 °C				

Tabla 3.8 - Incremento del límite superior de la temperatura operativa de confort, en función de la velocidad media del aire, según el proyecto de Norma prEN 15251.

Fuente: Elaboración propia.

A partir de los valores diarios de la temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}), obtenidos anteriormente, y para cada una de las velocidades del aire interior que figuran en la tabla 3.8, se han obtenido los límites superiores ($\theta_{i,max}$) de la temperatura operativa de confort, los cuales figura en los siguientes gráficos:

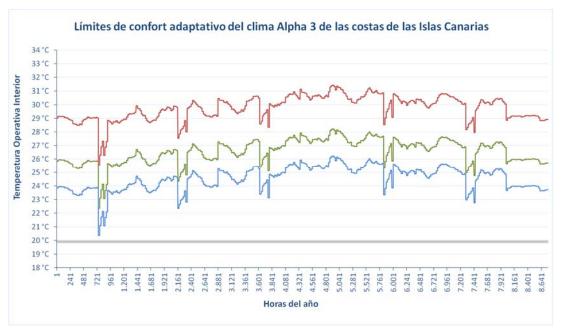


Fig. 3.20 - Temperatura Operativa de confort (θ_0) , y límites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 0,6 m/s.

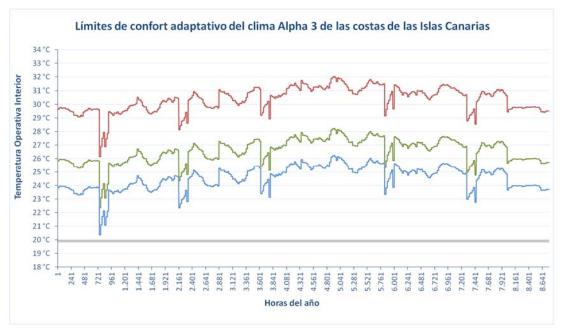


Fig. 3.21 - Temperatura Operativa de confort (θ_0) , y límites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 0,9 m/s.

Fuente: Elaboración propia.

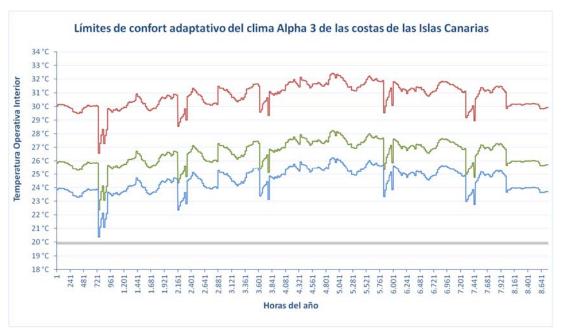


Fig. 3.22 - Temperatura Operativa de confort (θ_0) , y límites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 1,2 m/s.

3.3.- EL RECINTO MODELO

3.3.1.-Geometría de los recintos:

La temperatura interior de un recinto habitable está influenciada por numerosos parámetros tales como los datos climáticos, las características y orientación del edificio y la envolvente, los huecos semitransparentes, la ventilación, las ganancias internas, etc... Con el fin de evitar el sobrecalentamiento durante la época estival, es necesario definir, durante las fases de diseño, las caráterísticas de los recintos habitables.

Para estimar la temperatura interior de un recinto habitable, durante la referida estación, se ha optado por definir la geometría propuesta en la Norma EN ISO 13791 "Thermal performance of buildings. Calculation of internal temperatures of a room in summer without mechanical cooling. General criteria and validation".

Esta Norma plantea un recinto de geometría de planta rectángular y volumen prismático, con una fachada orientada al oeste de 3,60 m de ancho, una profundidad de 5,50 m y una altura de 2,80 m. La fachada contiene un hueco semitransparente de superficie A_w. Los test de validación propuestos en la norma se refieren a dos geomtetrias de recintos diferentes, uno con un hueco de fachada con una superficie A_w=3,5 m² y el otro con una A_w= 7,0 m², ambos sometidos a dos condiciones climáticas de distintas latitudes (40° N y 52° N), con tres combinaciones de envolvente y tres configuraciones de ventilación.

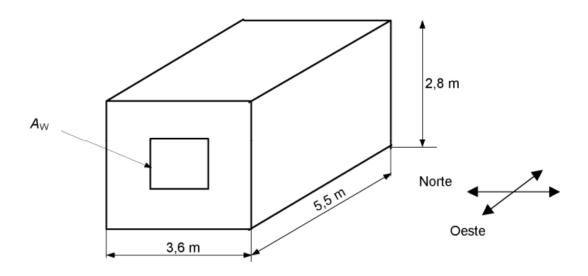


Fig. 3.23 - Geometría de recintos Norma EN ISO 13791 Fuente: EN ISO 13791, 2011

En las diferentes hipótesis de simulación energética que se realizan en el presente trabajo de investigación se adopta, para cada una de los recintos habitables, (zonas térmicas), la geometría de planta rectangular y volumen prismático propuesto en la Norma EN-ISO 13791:2011. Partiendo de esta geometría básica, se ha configurado una agrupación de cuatro recintos superpuestos verticalmente. Esta agrupación permite realizar simulaciones energéticas sobre tres recintos habitables, (zonas térmicas), con condiciones de contorno desiguales.

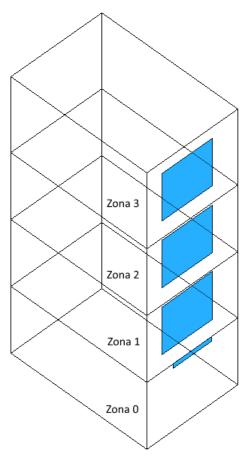


Fig. 3.24 - Geometría de agrupación de cuatro recintos superpuestos verticalmente, asimilando el comportamiento térmico de las zonas habitables a un edificio de uso residencial viviendas

De esta forma dispondremos de los siguientes recintos habitables (zonas térmicas):

• Zona 0:

Recinto no habitable, de 3,60 m de ancho, una profundidad de 5,50 m y una altura de 3,50 m, colindante superiormente con la Zona 1. Esta configuración asemeja a esta zona térmica a un local de planta baja sin ocupación, de un edificio destinado a uso residencial viviendas. El piso del recinto se configura como una solera de hormigón armado en contacto con el terreno, y las particiones interiores de la zona se consideran adiabáticas. El cerramiento de fachada es pesado, y en él se ha dispuesto una abertura de 0,32 m², sin

carpintería. Se ha programado en la simulación que este recinto dispone de una ventilación natural de 2,00 h⁻¹, constante durante todas las horas del año.

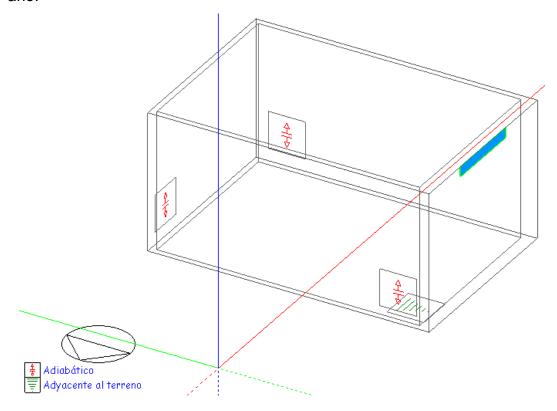


Fig. 3.25 - Geometría de la Zona 0 – Recinto no habitable planta baja.

Fuente: Elaboración propia. Gráfico obtenido con DesignBuilder.

Zona 1:

Recinto habitable que es colindante inferiormente con la Zona 0 y superiormente con la Zona 2. Esta configuración asemeja esta zona térmica a la del salón comedor de una vivienda de planta primera en contacto con local no habitable, en el que las pérdidas o ganancias térmicas se producirán a través del cerramiento de fachada, el forjado de piso en contacto con local no habitable (Zona 0) y el forjado de techo en contacto con recinto habitable (Zona 2). Las particiones interiores de la zona se consideran adiabáticas. El cerramiento de fachada es pesado, y en él se dispondrán diferentes dimensiones de hueco, en proporción a la superficie del cerramiento opaco, en función de la fase de la simulación energética y del cálculo paramétrico.

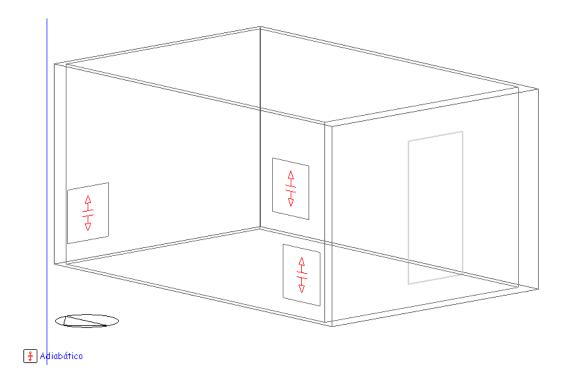


Fig. 3.26 - Geometría de las Zonas 1 y 2 – Recintos habitables. Planta primera y segunda. Fuente: Elaboración propia. Gráfico obtenido con DesignBuilder.

Zona 2:

Recinto habitable colindante inferiormente con la Zona 1 y superiormente con la Zona 3. Esta configuración asemeja a esta zona térmica a la de una vivienda de planta segunda en contacto, tanto inferior como superiormente, con recintos habitables (vivienda en planta intermedia) en el que las pérdidas o ganancias térmicas se producirán tanto a través del cerramiento de fachada como de los forjados de piso y techo. Las particiones interiores de la zona se consideran adiabáticas. El cerramiento de fachada es pesado, y en él se dispondrán diferentes dimensiones de hueco, en proporción a la superficie del cerramiento opaco, en función de la fase de la simulación energética y del cálculo paramétrico.

Zona 3:

Recinto habitable colindante inferiormente con la Zona 2 y superiormente con el forjado de cubierta (cubierta plana). Esta configuración asemeja a esta

zona térmica a la de una vivienda de última planta, se encuentra en contacto inferiormente con la Zona 2, y superiormente está en contacto con el aire exterior. Las pérdidas o ganancias térmicas se producirán tanto a través del cerramiento de fachada como de los forjados de piso y del forjado de techo. Las particiones interiores de la zona se consideran adiabáticas. El cerramiento de fachada es pesado, y en él se dispondrán huecos de diferentes dimensiones, en proporción a la superficie del cerramiento opaco, en función de la fase de la simulación energética y del cálculo paramétrico. La cubierta es plana, no transitable y acabada con lámina impermeable bituminosa autoprotegida.

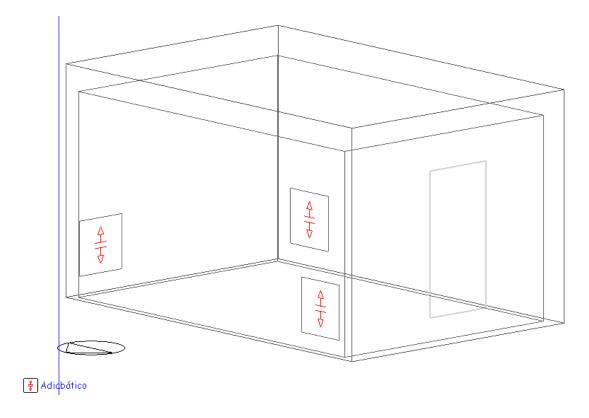


Fig. 3.27 - Geometría de la Zona 3 – Recintos habitables. Planta tercera, en contacto con cubierta. Fuente: Elaboración propia. Gráfico obtenido con DesignBuilder.

• Resumen:

En la siguiente tabla se proporcionan los valores de las características geométricas de los recintos, considerando las medidas por el interior.

Elemento	Planta	Ancho	Largo	Alto	Su
Elemento	Pidiild	(m)	(m)	(m)	(m²)
Fachada (sin deducir huecos)	Baja	3,60	-	3,50	12,60
racilada (siii deducii fidecos)	1 ^a , 2 ^a y 3 ^a	3,60	-	2,80	6,58
Partición interior vertical izquierda	Baja	-	5,50	3,50	19,25
Farticion interior vertical izquierda	1ª, 2ª y 3ª	-	5,50	2,80	15,40
Dartición interior vertical derecho	Baja	-	5,50	3,50	19,25
Partición interior vertical derecha	1ª, 2ª y 3ª	-	5,50	2,80	15,40
Partición interior vertical fondo	Baja	-	5,50	3,50	19,25
Particion interior vertical fortido	1 ^a , 2 ^a y 3 ^a	-	3,60	2,80	10,08
Suelo y techo	Todas	3,60	5,50	-	19,80
Cubierta (techo planta tercera)	3ª	3,60	5,75	-	20,70

Tabla 3.7 - Geometría del conjunto de recintos superpuestos.

Fuente: Elaboración propia. Gráfico obtenido con DesignBuilder

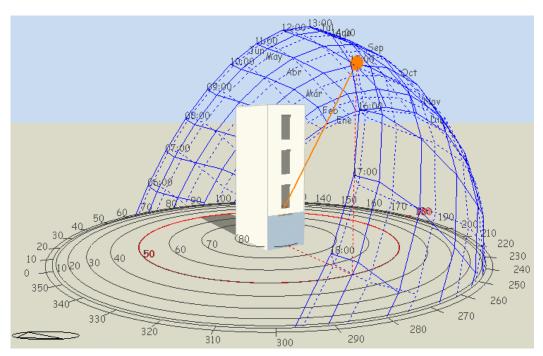


Fig. 3.28 - Geometría del edificio – Recintos habitables superpuestos.

Fuente: Elaboración propia. Gráfico obtenido con DesignBuilder.

3.3.2.-Parámetros geométricos y termofísicos de la envolvente térmica:

La envolvente térmica de los edificios, como límite físico entre el espacio interior y el clima exterior, es el elemento más relevante sobre el que los proyectistas pueden intervenir a la hora de mejorar las características de los elementos que definen el ambiente interior y, por ende, garantizar el bienestar

térmico de los usuarios, incidiendo directamente en la eficiencia energética de los edificios.

El **primer factor** predominante a considerar para el diseño de la envolvente térmica de un edificio es cuantificar la optimización de su transmitancia térmica, ya que en regiones con climas desérticos cálidos, una de las estrategias más efectivas de diseño pasivo consiste en ponderar el aislamiento térmico de la envolvente, siendo su objetivo de minimizar las pérdidas y/o ganancias de calor por conducción y por radiación.

El **segundo factor** dominante es la capacidad térmica de los cerramientos, entendida como la capacidad de acumular calor, la cual depende de la masa superficial (Kg/m²), que es función de su espesor y su densidad, y del calor específico de los materiales de las diferentes capas que lo componen. Cuando la superficie de los cerramientos se ven sometidos a un determinado flujo de calor, estos cambian su temperatura, calentándose o enfriándose, debido a su elevada capacidad de acumular calor o capacidad térmica.

Un **tercer factor** esencial consiste en valorar la estanqueidad al aire de la envolvente térmica, con el objeto de optimizar el grado de infiltración o exfiltración de aire que, garantizando las condiciones de confort térmico interior, minimicen las pérdidas de calor en el periodo invernal, permitiendo regular el sobrecalentamiento de los recintos habitables, al actuar como sumideros de calor en el periodo estival.

Un edificio con una envolvente térmica optimizada, respecto a las condiciones del clima exterior del lugar en que se ubica, ofrecerá mayores garantías de confort térmico a sus ocupantes, a la vez que minimizará el riesgo de ocurrencia de condensaciones, por lo que redundará en una mayor calidad y durabilidad de la construcción. En edificios cuyo diseño se basa en estrategias bioclimáticas, en los que el confort térmico se alcanza sin necesidad de recurrir a sistemas de climatización artificial, esto se traduce, además, en un descreimiento de la demanda energética, lo que a su vez implica menores

costos de operación y unas mayores garantías de alcanzar la calificación como edificio nZEB.

Estudiando los parámetros termofísicos de los materiales que componen las diferentes capas de un cerramiento, se conseguirá analizar su comportamiento térmico, pudiendo llegarse a determinar su mejor adaptación a regiones con climas fríos o calurosos. La influencia de los parámetros termofísicos de los materiales que componen un cerramiento es tal que, en ocasiones, cambiando el orden de una de sus capas, o simplemente su espesor, se alcanza diferentes prestaciones térmicas de los mismos, pudiendo lograrse un comportamiento energéticamente más eficiente de los edificios, dentro de una localización geográfica y microclimática concreta.

Los parámetros geométricos y termofísicos de los productos y elementos constructivos que se han adoptado en este trabajo de investigación, se han extraído del Catálogo de Elementos Constructivos del Código Técnico de la Edificación (CTE), versión 6.2 de enero de 2010, redactado por el Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción en colaboración con la Confederación Española de Asociaciones de Fabricantes de Productos de Construcción (CEPCO) y la Asociación de Investigación y Cooperación Industrial de Andalucía (AICIA).

A.- Envolvente térmica opaca:

En este apartado se incluyen los cerramientos exteriores opacos que forman parte de las fachadas y cubiertas. Los cerramientos de fachadas y cubiertas son elementos compuestos por diferentes capas de materiales de construcción, pueden ser homogéneas, formadas por un único material, o heterogéneas.

La transferencia de calor, en la envolvente térmica, se efectúa a través de las diferentes capas de material que componen el cerramiento, exclusivamente por conducción. En los cerramientos opacos, es trascendental la influencia de

la inercia térmica, de manera que el fenómeno de transferencia de calor por conducción resulta un proceso diferido en el tiempo, no instantáneo, existiendo un desfase y un amortiguamiento de la respuesta del cerramiento frente a las excitaciones exteriores.

En las regiones con clima desértico cálido, en época de verano, es transcendental el considerar, además de la transferencia de calor por conducción, el intercambio de calor que se produce de forma simultánea al coincidir la radiación solar incidente sobre las capas externas de la envolvente, con la convección y la radiación de la propia superficie con el aire exterior, generándose un intercambio de calor convectivo-radiante entre ambos.

Las propiedades superficiales de los materiales que conforman las capas externas de los cerramientos (absortividad, absortancia, emisividad, reflectividad, reflectancia y rugosidad), afectan de forma significativa a la transferencia de calor convectivo-radiante que se produce entre sus superficies y el aire exterior, influyendo por tanto en su eficacia térmica.

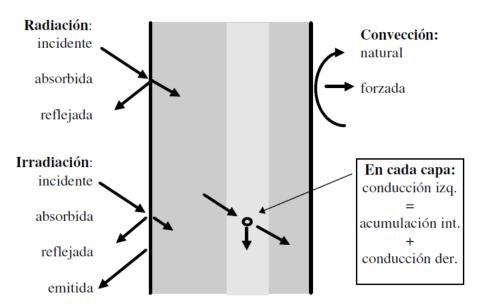


Fig. 3.29 - Esquema de los flujos de calor entre el cerramiento y su entorno. Fuente: Martín, 1995, pg. 13.

Con carácter general, la caracterización de un cerramiento concreto consiste en la especificación ordenada (desde el exterior al interior) de los materiales y cámaras de aire que lo componen y del espesor de cada uno de ellos. La descripción de cada material se hace en términos de su espesor, su conductividad térmica, su densidad, su calor específico.

En la siguiente tabla se exponen las propiedades termofísicas de los distintos materiales constructivos empleados en este trabajo de investigación, para configurar la envolvente térmica opaca que se han utilizado en las simulaciones térmicas:

Material	λ W/m·K	ρ (kg /m³)	C _p J/Kg⋅K	Absort. (α)	Emisiv.
Chapado de piedra natural caliza	0,8600	1.800	1.000	0,60	0,90
Mortero cemento - 1800 < d < 2000	1,3000	1.900	1.000	0,60	0,90
Mortero monocapa	0,6000	1.300	1000	0,60	0,90
Aislante térmico	0,0400	20	1000	0,60	0,90
Bloque hueco hormigón de Picón de 20 cm	0,5750	1.000	800	0,60	0,90
Yeso proyectado acabado con enlucido	0,5700	1.150	1000	0,60	0,90
Bituminosos Betún fieltro o lámina	0,2300	1.100	1.000	0,60	0,90
Mortero cemento - 1800 < d < 2000	1,3000	1.900	1.000	0,60	0,90
Hormigón con áridos ligeros d = 1600	0,5900	1.600	1.000	0,60	0,90
Forjado unid. Bovedillas de hgón. de picón	0,8823	1.273	800	0,60	0,90
Yeso proyectado acabado con enlucido	0,5700	1.150	1.000	0,60	0,90

Tabla.- 3.8 -Propiedades termofísicas de los materiales de la envolvente térmica opaca. Fuente: Elaboración propia.

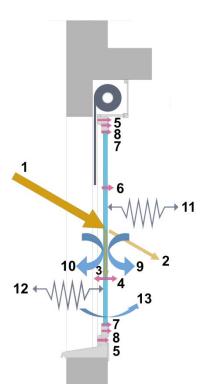
B.- Envolvente térmica semitransparente

En este trabajo de investigación, la envolvente térmica semitransparente comprende exclusivamente las carpinterías de los huecos de fachadas.

Las carpinterías están compuestas por un acristalamiento y un marco metálico (aluminio) sin rotura de puente térmico. Se considera incluido, en el hueco, un dispositivo de sombra móvil estacional (persiana enrollable), situado por el

exterior del acristalamiento, para su protección frente a la radiación solar incidente.

A través de la carpintería se establece un flujo de calor por conducción, como consecuencia de la diferencia de temperatura existente entre el ambiente interior y el clima exterior. A este flujo de calor se une, por un lado el flujo por conducción debido a la absorción de la radiación solar en cada uno de los elementos que componen la carpintería (marco más vidrio), y por otro lado una parte de la radiación de onda corta incidente, que es reirradiada hacia el interior del edificio, siendo absorbida por las superficies y los objetos interiores, que al calentarse emiten radiación infrarroja de onda larga. Los vidrios, al ser prácticamente impermeables a las radiaciones de longitud de onda larga (> 5 µm), posibilitan que este calor radiante quede atrapado en el interior de los recintos habitables, tendiendo a elevar la temperatura de aire del ambiente interior, provocando el "efecto invernadero" dentro del local.



- 01.- Radiación solar (Directa y Difusa)
- Fracción de la radiación solar transmitida al interior
- 03.- Fracción de la radiación solar absorbida
- 04.- Fracción de la radiación absorbida cedida al interior
- 05.- Fracción de la radiación absorbida por el marco cedida al interior
- 06.- Flujo de calor por conducción
- Flujo de calor por conducción debido al espaciador
- Flujo de calor por conducción a través del marco
- 09.- Flujo por convección con el aire interior
- 10.- Flujo por convección con el aire exterior
- 11.- Intercambio radiante de larga con el interior
- 12.- Intercambio radiante de larga con el exterior
- 13.- Flujo de calor debido a infiltraciones de aire

Fig. 3.30 - Transferencias de calor a través de un hueco.

Fuente: Elaboración propia a partir de Bustamante, et al, 2007, pg. 19, Fig 11.

Los protectores solares exteriores son el método más efectivo para reducir las ganancias de calor a través de los huecos, por lo que el dispositivo de sombra exterior móvil, será el encargado de bloquear una parte de la radiación solar directa y difusa que incide sobre el hueco.

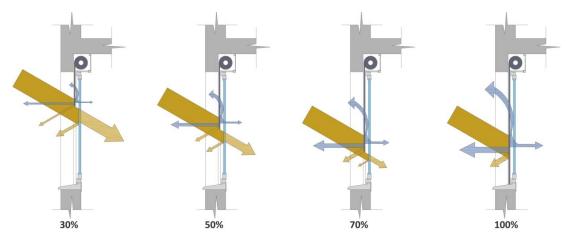


Fig. 3.31 - Factor de sombra de una protección móvil, en función del porcentaje de protección desplegado.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla se exponen las propiedades termofísicas de los distintos materiales constructivos empleados en este trabajo de investigación, para configurar la envolvente térmica semitransparente que se ha utilizado en las simulaciones térmicas:

M	Vidrio					
Tipo	U _{н,м} (W/m²·K)	α	Tipo	e (mm)	U _{H,V} (W/m²·K)	g
Aluminio sin rotura	5,70	0,90	Simple	6	5,70	0,83
de puente térmico			DVH	4-10-4	3,00	0,78
(AL-SRPT)			DVH cs	4-10-4	2,00	0,53

 Tabla.- 3.9 Propiedades termofísicas de la envolvente térmica semitransparente.

Leyenda:

DVH = Doble Vidrio Hermético.

DVH cs = Doble Vidrio Hermético con control solar.

 α = Absortividad del marco.

g = Factor solar del vidrio a incidencia normal

Fuente: Elaboración propia.

Dispositivo móvil de sombra					
	T	1			
Factor de Transmisión luminosa	TL	0,7 - 0,5 - 0,3			
Factor de Reflexión luminosa exterior	RLe	10%			
Factor de Transmisión directa energía solar	TE	0,7 - 0,5 - 0,3			
Factor de Reflexión exterior directa energía solar	REe	10%			
Emisividad hemisférica infrarroja	€ r	0,15			
Transmitancia infrarroja	Tr	0,7 - 0,5 - 0,3			
Espesor	е	0,02 m			
Conductividad térmica	λ	0,1 W/m·K			
Distancia de separación al vidrio	d	0,05 m			
Permeabilidad al aire		0,07			

Tabla.- 3.10 - Propiedades termofísicas del dispositivo móvil de sombra.

El dispositivo móvil de protección solar se ha simulado como un elemento fijo, situado por el exterior, paralelo al vidrio y separado 5 cm de él, que ocupa el 100% de la superficie del hueco. Se le ha asignado un espesor con valor próximo a cero, para evitar que tenga influencia en la transmisión de calor, ya que el objetivo es valorar únicamente su factor de sombra. Asignarle un Factor de transmisión directa de energía solar, TE = 0,7, equivale a una protección solar exterior (persiana, screen solar, etc...) que se ha desplegado un 30% de su longitud, no bloqueando, por tanto, el 70% de la radiación solar incidente sobre el hueco

C.- Particiones interiores

En la siguiente tabla se exponen las propiedades termofísicas de los distintos materiales constructivos empleados en este trabajo de investigación, para configurar las particiones interiores verticales y horizontales que se han utilizado en las simulaciones térmicas:

		λ	ρ	C _p
Material	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K
Yeso proyectado acabado con enlucido	0,0150	0,5700	1.150	1.000
Bloque hueco hormigón de Picón de 9 cm, 1 C	0,0900	0,4100	1.200	800
Yeso proyectado acabado con enlucido	0,0150	0,5700	1.150	1.000

Tabla.- 3.11 - Propiedades termofísicas de las particiones interiores verticales.

Material	е	λ	ρ	C _p
iviaterial	(m)	W/m·K	(kg/m^3)	J/Kg·K
Solado de baldosas cerámicas de gres porcelánico	0,0100	2,300	2.500	1.000
Base de mortero autonivelante de cemento	0,0400	1,300	1.900	1.000
Lana mineral MW (GW)	0,0300	0,0400	40	1.000
Forjado unid. Bovedillas de hormigón de picón	0,3000	0,882	1.273	800
Yeso proyectado acabado con enlucido	0,0150	0,570	1.150	1.000

Tabla.- 3.12 - Propiedades termofísicas de las particiones interiores horizontales.

Fuente: Elaboración propia.

3.4.- CONDICIONES OPERACIONALES EN EL USO RESIDENCIAL VIVIENDAS

Los parámetros que definen los perfiles de uso de los espacios habitables (cargas internas y temperaturas de consigna), que se han empleado en este trabajo de investigación, son coincidente, salvo alguna ligera corrección que se expondrá más adelante, con los recogidos en el Anexo III del documento: "Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos" (IDAE, 2009, pg. 22).

Se han seleccionado estos perfiles operacionales al ser los que se encuentran implementados en la nueva Herramienta Unificada LIDER-CALENER, y que no son coincidentes con los que se recogen en el Apéndice C del Documento Básico HE-1 del CTE de 2013. La diferencia entre ambos documentos se concreta en los perfiles asignados a iluminación y equipos, en el horario comprendido entre las 19 y las 23 horas. Mientras que en Apéndice C del

Documento básico se les asigna un valor de 1,32 W/m², en el Anexo III del Condiciones de aceptación de procedimientos alternativos a LIDER y CALENER se les asigna un valor de 4,40 W/m².

En el presente trabajo de investigación no se consideran temperaturas de consignas altas (época de verano), ni temperaturas de consignas bajas (época de invierno), ya que las zonas habitables que se han empleado en las simulaciones carecen de sistemas de climatización.

Carga interna debida a la ocupación:

El ser humano genera calor debido a la actividad metabólica que produce. La actividad metabólica, medida en W/m², cuantifica la cantidad de calor que el cuerpo humano necesita disipar al ambiente por metro cuadrado de piel para alcanzar el balance térmico según la actividad realizada. Dicha actividad se mide en met y depende del metabolismo de cada persona.

El met es la relación entre la potencia térmica (W) y la superficie corporal y, por tanto, no es una unidad absoluta de la actividad metabólica, sino una unidad de tasa metabólica (más bien de potencia térmica) relativa a la superficie de piel de nuestro cuerpo.

Se estima que la superficie corporal media de la población es de 1,8 m² de piel, y una persona en reposo disipa, hacia el ambiente que le rodea, una cantidad total de calor (sensible y latente) de aproximadamente 105 W; por tanto, al calor generado por una persona que permanece quieta o en reposo es de 58,20 W/m² (1 met).

El contacto del cuerpo humano con el ambiente que le rodea, puede producir pérdidas o ganancias en forma de calor sensible o latente. La intensidad de estos procesos, y por lo tanto los índices de pérdidas y ganancias, dependen en gran medida de las condiciones ambientales particulares (velocidad del aire, de la temperatura ambiente y de la humedad relativa).

Actividad		Tasa metabólica	
		met	
Reposo, tendido	46	0,8	
Reposo, sentado	58	1,0	
Actividad sedentaria (oficina, domicilio, escuela, laboratorio)	70	1,2	
Actividad ligera, de pie (de compras, laboratorio, industria ligera)	93	1,6	
Actividad media, de pie (dependiente de comercio, tareas domésticas, trabajo con máquinas)	116	2,0	
Caminar en Ilano			
2 km/h	110	1,9	
3 km/h	140	2,4	
4 km/h	165	2,8	
5 km/h	200	3,4	

Tabla.- 3.13 - Tasa metabólica según actividad.

Fuente: Anexo B de la Norma UNE-EN ISO 7730:2006.

El **calor sensible** se emite por radiación y por convección, y a menor escala por conducción. El **calor latente** se emite en forma de vapor de agua por evapotranspiración (evaporación del sudor sobre la piel, difusión del vapor directamente a través de la piel y respiración).

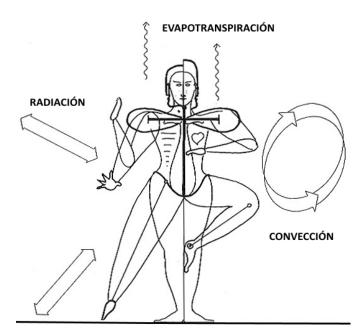


Fig. 3.32 - Mecanismos fundamentales de intercambio de calor entre el hombre y su entorno.

Fuente: Neila, 2004, pg. 228.

En la siguiente tabla se recoge el perfil de uso debido a la ocupación de los edificios de uso residencial.

	Perfil de uso por ocupación, para edificio de uso residencial					
	Ocupación día laboral		Ocupación sábado y festivos			
Hora	Sensible (W/m²)	Latente (W/m²)	Total (W/m²)	Sensible (W/m²)	Latente (W/m²)	Total (W/m²)
4	0.45	4.00	0.54	0.45	4.00	0.54
1	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
2	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
3	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
4	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
5	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
6	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
7	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51
8	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
9	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
10	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
11	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
12	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
13	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
14	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
15	0,54	0,34	0,88	2,15	1,36	3,51
16	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
17	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
18	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
19	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
20	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
21	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
22	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
23	1,08	0,68	1,76	2,15	1,36	3,51
24	2,15	1,36	3,51	2,15	1,36	3,51

Tabla.- 3.14 - Perfil de uso normalizado, para edificio de uso residencial, referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 3.33 y 3.34, se puede observar que, en los días laborables, la carga interna debido a la ocupación de los recintos habitables se fija en 2,15 W/m² de calor sensible y 1,08 W/m² de calor latente, para el horario comprendido entre 0:00 y las 8:00 de la mañana, considerándose dicho espacio con una ocupación del 100%. Este perfil equivale, para las Zonas 1,

2 y 3 del edificio que se estudian en el presente trabajo de investigación, a una carga total de 69,50 W, y se corresponde con una ocupación de una persona. En el horario comprendido entre las 8:00 y las 15:00 de la tarde, los recintos habitables se consideran desocupados, y se fija una carga de calor sensible de 0,54 W/m², y una carga de calor latente de 0,34 W/m². En el horario comprendido entre las 16:00 y las 24:00, los recintos habitables se consideran ocupados al 50%, y se fija una carga de calor sensible de 1,084 W/m², y una carga de calor latente de 0,68 W/m².



Fig. 3.33 - Perfil uso referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente en días laborales.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 3.34 - Perfil de uso referido a los porcentajes de las cargas debidas a la ocupación sensible y latente en días laborales.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 3.35 y 3.36, se puede observar que los sábados y días festivos, los recintos habitables se consideran con una ocupación del 100% durante todas las horas del día y, en el horario comprendido entre las 0:00 y las 24:00, se les fija una carga de calor sensible de 2,15 W/m², y una carga de calor latente de 1,08 W/m².



Fig. 3.35 - Perfil de uso referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente los sábados y festivos.

Fuente: Elaboración propia.



Fig. 3.36 - Perfil de uso referido a los porcentajes de las cargas debidas a la ocupación sensible y latente los sábados y festivos.

Fuente: Elaboración propia.

Carga interna debida a la iluminación y equipos:

En la siguiente tabla se recoge el perfil de uso debido a la iluminación y equipos de los edificios de uso residencial.

Perfil de uso por iluminación y equipos, para edificio de uso residencial				
Hora	lluminación (W/m²)	Equipos (W/m²)		
1	0,44	0,44		
2	0,44	0,44		
3	0,44	0,44		
4	0,44	0,44		
5	0,44	0,44		
6	0,44	0,44		
7	0,44	0,44		
8	1,32	1,32		
9	1,32	1,32		
10	1,32	1,32		
11	1,32	1,32		
12	1,32	1,32		
13	1,32	1,32		
14	1,32	1,32		
15	1,32	1,32		
16	1,32	1,32		
17	1,32	1,32		
18	1,32	1,32		
19	2,20	2,20		
20	4,40	4,40		
21	4,40	4,40		
22	4,40	4,40		
23	4,40	4,40		
24	2,20	2,20		

Tabla.- 3.15 - Perfil de uso referido a las cargas debidas a la iluminación, los equipos y la ventilación.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 3.37 y 3.38, se puede observar que, en cualquier día de la semana, la carga interna debido a la iluminación y equipos de los recintos habitables se fija en 0,44 W/m² de calor sensible, para el horario comprendido entre 0:00 y las 8:00 de la mañana, representando un 10% de la carga máxima. En el horario comprendido entre las 8:00 y las 18:00 de la tarde, se

fija una carga de calor sensible de 1,32 W/m², representando un 30% de la carga máxima. Entre las 19:00 y las 20:00 y entre las 23:00 y las 24:00, se fija una carga de calor sensible de 2,20 W/m², representando un 50% de la carga máxima. En el horario comprendido entre las 20:00 y las 23:00, se fija una carga de calor sensible de 4,40 W/m², representando la carga máxima.



Fig. 3.37 - Perfil de uso referido a las cargas debidas a la iluminación y los equipos. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 3.38 - Perfil de usos referido a los porcentajes las cargas debidas a la iluminación y los equipos.

Fuente: Elaboración propia.

Nivel de ventilación:

En la siguiente tabla se recoge el perfil de uso por ventilación, en los edificios de uso residencial.

Perfil de uso por ventilación, para edificio de uso residencial				
	Ventil	Ventilación		
Hora	Invierno (renov/horas)	Verano (renov/horas)		
1	0,00	4,00		
2	0,00	4,00		
3	0,00	4,00		
4	0,00	4,00		
5	0,00	4,00		
6	0,00	4,00		
7	0,00	4,00		
8	0,00	4,00		
9	0,63	0,00		
10	0,63	0,00		
11	0,63	0,00		
12	0,63	0,00		
13	0,63	0,00		
14	0,63	0,00		
15	0,63	0,00		
16	0,63	0,00		
17	0,63	0,00		
18	0,63	0,00		
19	0,63	0,00		
20	0,63	0,00		
21	0,63	0,00		
22	0,63	0,00		
23	0,63	0,00		
24	0,63	0,00		

Tabla.- 3.16 - Perfil de uso referido a los niveles de ventilación.

Fuente: Elaboración propia.

En las figuras 3.39 y 3.40, se puede observar que en el régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1:00 y las 8:00 horas, ambas incluidas, los recintos habitables presentan una infiltración de aire originada

por la apertura de ventanas (ventilación natural), de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, el número de renovaciones hora es constante e igual 0,63 h⁻¹, conforme a las indicaciones establecidas en el Anexo de la nota informativa sobre herramientas informáticas para la verificación de las exigencias del DB-HE (Ministerio de Fomento, 2014, pg. 3).



Fig. 3.39 - Perfil de uso de ventilación, en número de renovaciones hora. Fuente: Elaboración propia.



Fig. 3.40 - Perfil de uso de ventilación, en porcentaje. Fuente: Elaboración propia.

3.5.- APLICACIÓN INFORMÁTICA PARA LA GESTIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Uno de los retos que se ha tenido que afrontar, en este trabajo de investigación, ha sido el de la gestión de los resultados. El cuantioso volumen de datos que se ha tenido que estudiar y comparar, exigió el diseño de una aplicación informática que permitiera, con cierta sencillez, tanto la gestión como la visualización y análisis de los resultados.

No se debe olvidar que se han realizado un total de 5.508 simulaciones, que para cada una de ellas se han establecido, en función de la velocidad del aire interior, cuatro límites superiores de la zona de confort adaptativo y que, además, se han tenido que examinar, en régimen horario, las temperaturas operativas de tres recintos habitables, o zonas térmicas. Con todo ello, se han tenido que analizar un total de 66.096 conjuntos de datos, sin mencionar que la revisión de resultados se ha realizado para los 365 días del año. Para facilitar estas operaciones se ha desarrollado una aplicación informática en soporte Microsoft Excel.

Microsoft Excel es una aplicación desarrollada por Microsoft Corp., que se distribuye dentro de la suite Office. Se trata de una hoja de cálculo diseñada para facilitar la organización y gestión de una lista de datos relacionados entre sí. Los datos se organizan dentro de una lista con cabeceras de columna que definen campos y filas que contienen registros.

Los trabajos realizados en Excel se guardan en un archivo, también conocido como "Libro". Cada Libro de Excel está formado por hojas y cada hoja está dividida en múltiples celdas que, a su vez, están relacionados con una fila y una columna.

Se ha seleccionado esta plataforma dada su versatilidad en la gestión de datos, su facilidad para personalizar las necesidades de cálculo y por la sencillez en la gestión de datos (importación, ordenación y filtrado, depuración, validación y análisis) y por llevarlos a cabo con exactitud y

eficacia. También se ha de destacar la facilidad que tiene esta herramienta informática para conectar diferentes libros Excel entre sí, intercambiar datos entre ellos, y como se pueden interrelacionar datos entre diferentes hojas de un mismo libro.

Otras de las grandes ventajas de Microsoft Excel es que, con el objetivo de eliminar tareas repetitivas o realizar cálculos complejos en un corto espacio de tiempo, permite la programación de una serie de instrucciones, denominadas macros, que automatizan los procesos de cálculo y la presentación de resultados.

Las macros se escriben en un lenguaje de programación denominado VBA (Visual Basic for Applications). Este lenguaje ha sido desarrollado por Microsoft, e implementado dentro de los programas informáticos de la suite Office, y permite acceder a prácticamente todas las funcionalidades de Excel y con ello también ampliar la funcionalidad del programa.

A continuación, y a modo de tutorial, se exponen las características y funcionalidades de la aplicación informática desarrollada, que se ha denominado: "Gestión de Resultados Simulaciones Tesis".

El Libro Excel:

El libro Excel se ha diseñado con un total de 14 Hojas, interrelacionadas entre sí, que se ajustan al diagrama de flujos de la figura 3.41.

Se ha programado la macro "Workbook_Open" para que, al abrirse el Libro Excel, se active la Hoja "Datos" como pantalla de inicio y que, además, se carguen los resultados correspondientes al primer fichero de la simulación, correspondiente a la Fase 1, orientación Sur, porcentajes de huecos del 20% y velocidad del aire interior de 0,30 m/s.

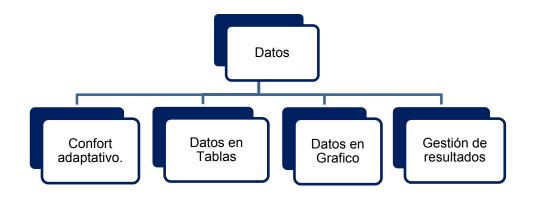


Fig. 3.41 - Perfil de uso de ventilación, en porcentaje.

Fuente: Elaboración propia.

Hoja "Datos":

	В	C	D	E	F	G	H	1	1	K	L	M	N	0
1	Orientación	% Hueco	Protección Móvil	% Vidrio en sombra	Absortancia Marco	Tipo de Marco	Tipo de Vidrio	Absortancia Fachada	U Fachada	Absortancia Cubierta	U Cubierta	Absortancia Suelo	Tipo de Pavimento	Velocidad del Aire
4	Sur	20%	SI	30%	0,90	Al sin RpT	Simple 6 mm	0,90	1,35 W/m ² ·K	0,90	1,20 W/m ² -K	0,90	Gres	0,30
5														
6	Nº de	Fase	Máxin	na anual:	30,00 °C	28,23 °C	30,23 °C	26,23 °C	30,72 °C	31,74 °C	31,26 °C	81,77 %	79,94 %	82,83 %
7	Orden	Nº	Media anual:		19,71 °C	26,56 °C	28,56 °C	24,56 °C	26,88 °C	27,79 °C	26,23 °C	53,28 %	51,20 %	54,57 %
8	001	Fase 1	Minin	na anual:	6,70 °C	22,36 °C	24,36 °C	20,36 °C	23,19 °C	24,00 °C	21,54 °C	30,14 %	28,64 %	32,11 %
9														
10		Código Simulación:		nulación:	Fase 1 - EP.000.0	20.030-001	Categ	oría Edificio:	п 🔻	PPD:	< 20%	Velocidad	aire interior	0,3 m/s
11														
12					Temperatura	Temperatura I	Operativa Inter	ior de Confort	Temperatura	Temperatura	Temperatura	Humedad	Humedad	Humedad
13					Aire	Media	Límite	Limite	Operativa	Operativa	Operativa	Relativa	Relativa	Relativa
13 14	Mes	Semana	Día	Hora	Exterior	de Confort	Superior	Inferior	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3	ZONA 1	ZONA 2	ZONA 3
15					θ _e	θ _{i,med}	θ _{i,máx}	θ _{i,min}	θ _{o,Zona 1}	θ _{o,Zona 2}	θ _{o,Zona 3}	HR _{Zona 1}	HR _{Zona Z}	HR _{Zone 3}
16		(m)		*	v	¥			×	Y	¥	¥	Y.	- 8
17	1	1	1	01:00	17,80 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	27,30 °C	28,27 °C	25,35 °C	50,98 %	49,18 %	54,67 %
18	1	1	1	02:00	18,90 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	27,23 °C	28,21 °C	25,26 °C	49,91 %	48,19 %	53,46 %
19	1	1	1	03:00	18,30 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	27,12 °C	28,10 °C	25,15 °C	46,90 %	45,38 %	50,11 %
20	1	1	1	04:00	17,80 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	26,97 °C	27,95 °C	25,00 °C	45,12 %	43,69 %	48,10 %
	1	1	1	05:00	17,20 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	26,70 °C	27,69 °C	24,75 °C	44,63 %	43,22 %	47,45 %
21										22 15 22	015050	44 47 0/	44 49 04	47740/
	1	1	1	06:00	16,70 °C	25,83 °C	27,83 °C	23,83 °C	26,46 °C	27,45 °C	24,53 °C	44,47 %	43,07 %	47,24 %

Fig. 3.42 - Vista parcial de la Hoja "Datos".

Fuente: Elaboración propia.

En la parte superior de la Hoja, de la fila 1 a la 4, se visualizan los datos más relevantes del fichero de simulación que se encuentra cargado.

7	R	- C				G	H			K		M	N	
1	Orientación	% Hueco	Protección Móvil	% Vidrio en sombra	Absortancia Marco	Tipo de Marco	Tipo de Vidrio	Absortancia Fachada	U Fachada	Absortancia Cubierta	U Cubierta	Absortancia Suelo	Tipo de Pavimento	Velocidad del Aire
4	Sur	20%	SI	30%	0,90	Al sin RpT	Simple 6 mm	0,90	1,35 W/m ² -K	0,90	1,20 W/m ² ·K	0,90	Gres	0,30
5	Nº de	Fase	Máxir	enual:	30,00 °C	28,23 °C	30,23 °C	26,23 °C	30,72 °C	31,74 °C	31,26 °C	81,77 %	79,94 %	82,83 %
7	Orden	Ma	Med	1 /	19,71 °C	26,56 °C	28,56 °C	24,56 °C	26,88 °C	27,79 °C	26,23 °C	53,28 %	51,20 %	54,57 %
8	001	Fase 1	Mínin	18	6.70 °C	22.36 °C	24.36 °C	20,36 °C	23,19 °C	24.00 °C	21,54 °C	30.14 %	28,64 %	32.11 %
10		/ (Código Sin	nulaci	EP.000.0	20.030-001	Categ	goría Edificio:	п	PPD:	< 20%	Velocidad	aire interior	0,3 m/s
11		1 /	()			1 /				
				Date	s del	fichero	de Interi	ior de Confort	Temperatura	Ten	Temperatura	Humedad	Humedad	Humedad
12	Mes	S	Día			fichero caroad		ior de Confort Limite Inferior	Temperatura Operativa ZONA 1	Ten Op ZO	Temperatura perativa (A 3	Humedad Relativa ZONA 1	Humedad Relativa ZONA 2	Humedad Relativa ZONA 3
3	Mes	s	Día					Limite	Operativa ZONA 1 θ _{o,Zona}	Op ZO	perativa VA 3	Relativa ZONA 1	Relativa ZONA 2	Relativa ZONA 3
13	Mes	s	Día		ılación	cardad	0	Límite Inferior	Operativa ZONA 1 θ _{o,Zona}	Op ZO	perativa VA 3	Relativa ZONA 1	Relativa ZONA 2	Relativa ZONA 3
12 13 14 15 16	1	Dato		simu	ılación	cardad	0	Límite Inferior	Operativa ZONA 1 θ _{o,Zona}	Valores	nerativa	Relativa ZONA 1	Relativa ZONA 2 nedios	Relativa ZONA 3
111 112 113 114 115 116 117 118 119 120	1 1		s del	simu	ulación ero de	carαad θ _{i,med} 25,83 °C	Ο θ _{i,máx} ν 27,83 °C	Limite Inferior $\theta_{i,min}$ 23,83 °C	Operativa ZONA 1 θ _{o,Zona} 27,30° 27,23°	Valores mínimo	nerativa 14 3 máxin	nos, n	Relativa ZONA 2 nedios	Relativa ZONA 3
12 13 14 15 16 17 18	1 1		s del	simu	ulación ero de	Cardad θ _{I,med} 25,83 °C 25,83 °C 25,83 °C	Ο θ _{i,máx} 27,83 °C 27,83 °C 27,83 °C	Limite Inferior θ _{I,min} 23,83 °C 23,83 °C 23,83 °C	Operativa ZONA 1 0 _{0,Zona} 27,30 ° 27,23 ° 27,12 °	Valores mínimo	máxin s anua	nos, n	Relativa ZONA 2 nedios	Relativa ZONA 3
12 13 14 15 16 17 18	1 1		s del	simu fiche	ero de lado	Cardad θ _{l,med} 25,83 °C 25,83 °C 25,83 °C 25,83 °C	Ο θ _{I,máx} 27,83 °C 27,83 °C 27,83 °C 27,83 °C	Limite Inferior θ _{I,min} 23,83 °C 23,83 °C 23,83 °C 23,83 °C	Operativa ZONA 1 0 _{0.Zona} 27,30° 27,23° 27,12° 26,97°	Valores mínimo de simi	máxin s máxin s anua ulación	nos, nos de cargac	redativa ZONA 2 nedios el fiche	Relativa ZONA 3

Fig. 3.43 - Vista parcial de la Hoja "Datos".

Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 3.43, se puede observar que, inmediatamente debajo, entre la fila 6 y la 8, se visualizan por un lado, el número de orden y el número de Fase de simulación del fichero cargado, entre las columnas "B" y "C"; por otro lado, entre las columnas "F" y "O", se visualizan los valores máximos, medios y mínimos anuales, correspondientes a los datos de temperatura del aire exterior, de la temperatura operativa de confort interior, de la temperatura operativa interior de cada uno de los recintos habitables (Zonas 1 a 3), así como de la humedad relativa interior de cada uno de los recintos habitables (Zonas 1 a 3).

En la fila 10, se disponen los controles de selección de datos con los que se configura la visualización de los mismos en las otras Hojas del Libro. En la fila 10, columnas "F" y "G", se ha dispuesto una lista desplegable (ListBox), en la que, al seleccionar el fichero de simulación se cargan los datos de este. En esa misma fila, columna "J", a través de otra lista desplegable se puede seleccionar la categoría del edificio según especificaciones de la Norma UNE-EN 15251; esta selección establece el índice PPD, que nos proporciona información sobre el grado de incomodidad de los usuarios. Por último, en la Celda de la fila 10 con la columna "O", a través de otra lista desplegable, se

puede seleccionar la velocidad del aire interior, que configura el límite superior de la zona de confort adaptativo.



Fig. 3.44 - Vista parcial de la Hoja "Datos".

Fuente: Elaboración propia.

De la fila 12 a la 15, se disponen los encabezados de los datos de entrada y de salida, los cuales se instalan, para las 8.760 horas del año, desde la fila 17 a la 8.776. En las seis primeras columnas, de la "A" a la "F", figuran los datos del fichero climático zona Alfa3c.epw, correspondiente al clima de las costas de las Islas Canarias; estos datos son fijos e inmodificables. Los datos de Año, Mes, Semana, Día y Hora se han colocado desde la columna "A" a la "E", mientras que en la columna "F" se han instalado los datos temperatura seca del aire exterior. La columna "A" permanece oculta por ser irrelevante a la hora de filtrar datos.

De la columna "G" a la "I", figuran tanto los detalles relativos a la Zona de Confort, determinados según el modelo adaptativo, como sus límites superior e inferior; estos datos e han calculado en la Hoja "Confort Adaptativo". En las siguientes seis columnas se han dispuesto los resultados de la Temperatura Operativa y Humedad Relativa de cada una de las tres Zonas estudiadas. Estos resultados se han extraído, mediante la macro "ConvertirCSVtoXLSX", del fichero de salida con extensión "csv", de las diferentes simulaciones informáticas realizadas; estos datos se cargan, al seleccionar el archivo en la

lista desplegable "Código Simulación", mediante la macro "AbrirArchivo". Al tratarse de datos variables, y para distinguirlos del resto de datos, el fondo de las celdas de estas seis columnas se ha establecido en color amarillo.

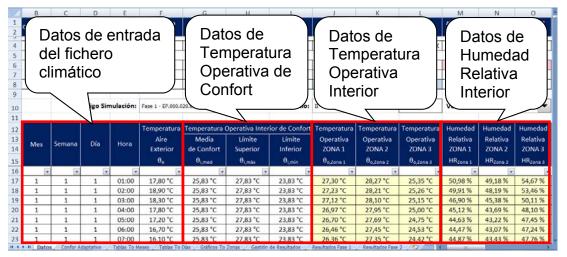


Fig. 3.45- Vista parcial de la Hoja "Datos".

Fuente: Elaboración propia.

Hoja "Confort Adaptativo":

A partir de los parámetros de entrada, configurados en la Hoja "Datos", se realizan los cálculos para establecer la temperatura exterior promedio diaria (θ_e) , determinada a partir de los datos horarios del fichero climático zonaAlfa3c.epw. Una vez establecidas estas temperaturas, y aplicando la ecuación [3.06], obtenemos la temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}) . Los resultados obtenidos se presentan a través de dos tablas.

Bajo cada tabla (filas 38 y 40), se recogen datos relativos a las temperaturas máximas y mínimas diarias que se producen en cada uno de los doce meses del año. En la tabla correspondiente a la temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ_{rm}), esta selección permite verificar, de forma automática, si la θ_{rm} se encuentra dentro del intervalo entre los 10 °C y los 30 °C. Además, mediante el administrador de reglas de formato condicionales de Excel, se han configurado las celdas de la tabla para que, en función de su contenido,

cambie el color de su fondo. De esta forma se consigue que, de modo visual, se pueda verificar qué días del año se cumple la condición: $10 \, ^{\circ}\text{C} < \theta_{rm} < 30 \, ^{\circ}\text{C}$, y en cuáles se superan los límites superior ($30 \, ^{\circ}\text{C}$) e inferior ($10 \, ^{\circ}\text{C}$).

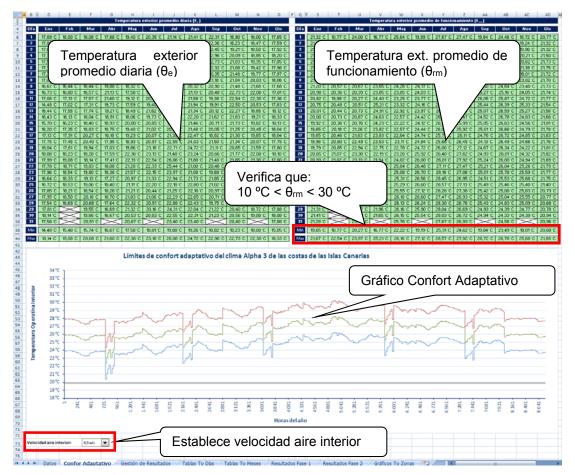


Fig. 3.46 - Vista de la Hoja "Confort Adaptativo".

Fuente: Elaboración propia.

Se ha empleado el siguiente código de colores:

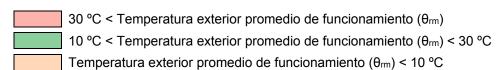


Fig. 3.47 - Código de colores según el valor del contenido de las celdas.

Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior de la Hoja, se ha dispuesto el gráfico que representa la zona de confort con sus límites superior e inferior; en la esquina inferior izquierda del gráfico, se ha habilitado una lista desplegable que permite seleccionar la velocidad del aire interior, que modifica la amplitud del límite superior de la zona de confort.

Hoja "Tablas To Meses":

En esta Hoja se exponen los resultados mensuales de la temperatura operativa (θ_0) del aire interior de cada una de las tres zonas térmicas. La hoja cuenta con un Botón de Comando denominado "Exportar Imagen de las tablas", una Lista desplegable y nueve tablas de resultados, agrupadas en tres bloques diferentes, tanto vertical como horizontalmente.

_ ∠B(D	Ε	F	G	Н	1	J	K	L	М	N	0	Р	Q	
3		Ī	Export	tar Image	n de las	Tablas		Códig	o Simu	lación:	Fase 1-	EP.000.02	20.030-00	1 🔻	
6	Zona	1		F	- EP.0	00.020-	001 - N	de ho	ras de c	lisconfo	ort térmi	co adap			
8	Día		En	Botón	para	export	ar 💆	Jun	Jul	Ago	Lista	des	plegab	ole 🔳	
10	1		0%		olas co		6	0%	0%	0%			r fiche	ro 🔲	
11	2		0%	Imáge	nes "jp	og"	6	0%	0%	0%	de simulación				
12	3		0%	30/8	0/8	0/8	5/0	0%	0%	0%	078	0/8	0/8	0/0	
13	4		0%	13%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
14	5		0%	25%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
15	6		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
16	7		0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	

Fig. 3.48 - Vista parcial del encabezado de la Hoja "Tablas To Meses".

Fuente: Elaboración propia.

Al pulsar el Botón "Exportar Imagen de las Tablas", se ejecuta la macro "GuardaTablasToMesesAsImagen", la cual crea, dentro del mismo directorio donde se encuentra el Libro Excel, una Carpeta denominada "Imágenes de Tablas" y, dentro de ella, se crea una subCarpeta cuya designación coincide con los seis primeros caracteres del nombre del archivo de simulación que se encuentra seleccionado, los cuales hacen referencia al número de la Fase de simulación (Fase 1, Fase 2, Fase 3, etc....).

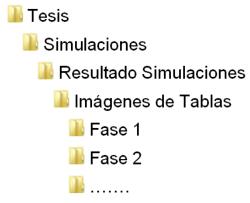


Fig. 3.49 - Árbol de Carpetas para la gestión de archivos. Fuente: Elaboración propia.

Verticalmente las tablas se agrupan por Zonas Térmicas, de tal forma que, las tres tablas de la izquierda, columnas de la "D" a la "Q", se corresponden con datos de la Zona térmica 1; las tres tablas centrales, columnas de la "U" a la "AH", se corresponden con datos de la Zona térmica 2; las tres tablas verticales de la izquierda, columnas de la "AL" a la "AY", se corresponden con datos de la Zona térmica 3.

Horizontalmente las tablas se agrupan según los resultados de la temperatura operativa interior (θ_0) de cada una de las tres zonas térmicas, las tres tablas superiores, filas de la 6 a la 49, se corresponden con el porcentaje de horas en que la temperatura operativa de cada una de las tres zonas térmicas se encuentra dentro o fuera de la zona de confort; las tres tablas intermedias, filas de la 53 a la 91, se corresponden con el número de horas en que la temperatura operativa se encuentra por debajo del límite inferior de zona de confort; las tres tablas de la parte inferior, filas de la 95 a 133, se corresponden con el número de horas en que la temperatura operativa se encuentra por encima del límite superior de zona de confort.

A partir de los cálculos horarios realizados con el software EnergyPlus, la presentación de resultados se realiza a nivel diario, semanal, mensual y anual, con el objetivo de obtener una visión general de los datos. Para cada uno de estos cuatro niveles de tiempo, en las tablas se representa el porcentaje de horas en que la temperatura operativa (θ_0) se encuentra dentro de los límites

de la Zona de Confort, o fuera de ellos, ya sea porque se ha superado el límite superior de confort, o por encontrarse la temperatura por debajo del límite inferior.

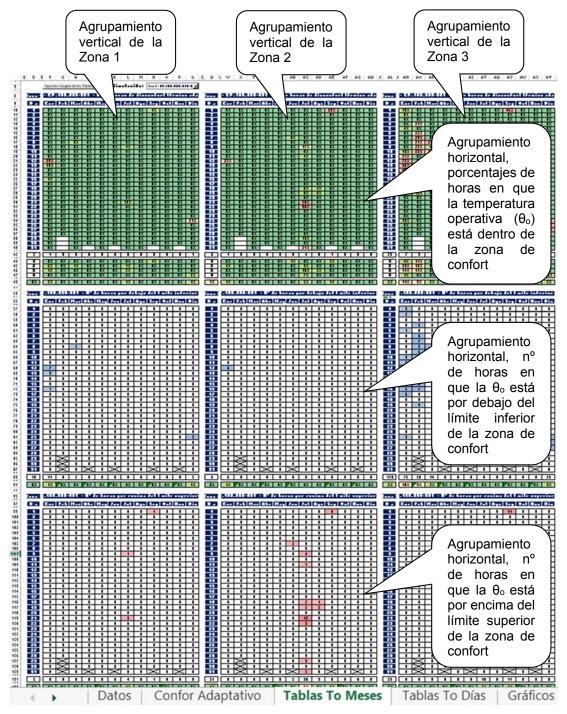


Fig. 3.50 - Vista general de la Hoja "Tablas To Meses", en la que se pueden observar los agrupamientos verticales y horizontales de las tablas de resultados de temperatura operativa (θ_0) .

Fuente: Elaboración propia.

Se ha optado por esta forma de representar la salida de resultados por dos motivos fundamentales. El primero de ellos obedece al criterio empleado para evaluar las condiciones de confort de las zonas térmicas a lo largo de un año, para el que se ha empleado el método del porcentaje fuera de rango, tal como se expondrá en el Capítulo 4. El segundo motivo tiene que ver con la exigencia de ofrecer una salida de resultados gráfica, que permitiera visualizar, de forma rápida y eficaz, el grado de cumplimiento del confort térmico en cada uno de los tres recintos habitables.

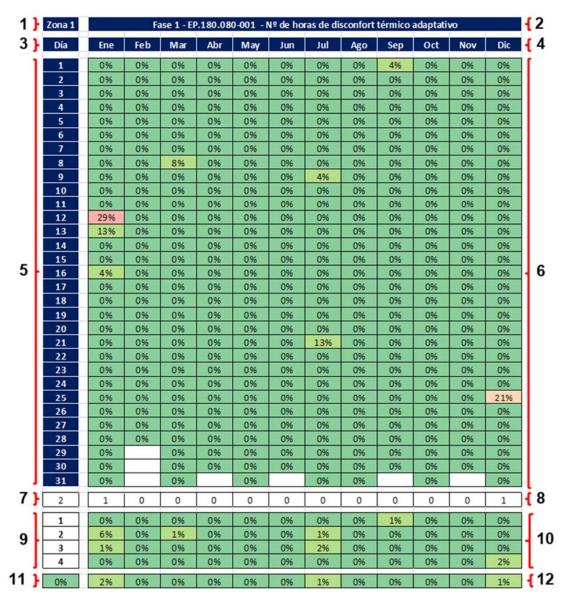


Fig. 3.51 - Porcentaje de horas de disconfort.

Fuente: Elaboración propia.

Siguiendo el orden numérico representado en la Fig.- 3.51, a continuación se expone la interpretación de los resultados de una de las simulaciones:

- 01.- Zona térmica.
- 02.- Nombre del fichero de simulación, seguido del encabezado de resultados.
- 03.- Encabezado de los días del mes, que figuran debajo.
- 04.- Meses del año.
- 05.- Días del mes.
- 06.- Porcentaje de horas al día en que la temperatura operativa de la zona térmica indicada en "01" se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 15% de las horas totales del día (3,60 horas).
- 07.- Número de días al año en que la temperatura operativa de la zona térmica indicada en "01", se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 15% de las horas del día (3,60 horas).
- 08.- Número de días en cada mes, en que la temperatura operativa de la Zona térmica indicada en "01", se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 15% de las horas del día (3,60 horas).
- 09.- Número de semanas de cada mes.
- 10.- Porcentaje de horas a la semana en que la temperatura operativa de la zona térmica indicada en "01", se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 10% de las horas totales de la semana (18 horas).
- 11.- Porcentaje de horas al año en que la temperatura operativa de la zona térmica indicada en "01", se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 3% del total de horas anuales (262 horas).
- 12.- Porcentaje de horas al mes en que la temperatura operativa de la zona térmica indicada en "01", se encuentra fuera de los límites de confort adaptativo más de un 5% del total de horas mensuales (37 horas).

Se ha empleado el siguiente código de colores:

Porcentaje de horas = 0%

0% < Porcentajes de horas < 15%

15% < Porcentajes de horas < 20%

20% < Porcentajes de horas < 25%

Porcentajes de horas > 25%

Fig. 3.52 - Código de colores según el valor del contenido de las celdas.

Fuente: Elaboración propia.

Zona 3		Fase :	1 - EP.18	0.080-00)1 - Nº d	e horas į	or deba	jo del lín	nite infer	ior de Co	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	5	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	6	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	3	7	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	11	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	6	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	6	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	\sim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	\geq	0	\geq	0	\geq	0	0	\geq	0	\geq	0
170	75	58	14	0	0	0	0	0	0	0	0	23
2%	10%	9%	2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	3%

Fig. 3.53 - Número de horas en que la temperatura operativa de la zona térmica se encuentra fuera del límite inferior de la zona de confort adaptativo.

Fuente: Elaboración propia.

Zona 2		Fase 1	- EP.180	0.080-00	1 - Nº de	horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0 0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	12	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	>	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0
30	0	\sim	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	\geq	0	\geq	0	\geq	5	0	\geq	0	\geq	0
51	0	0	0	0	0	2	38	3	8	0	0	0
1%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	5%	0%	1%	0%	0%	0%

Fig. 3.54 - Número de horas en que la temperatura operativa de la zona térmica se encuentra fuera del límite superior de la zona de confort adaptativo.

Fuente: Elaboración propia.

Hoja "Tablas To Días":

En esta Hoja se exponen los resultados diarios de la temperatura operativa (θ_0) del aire interior de cada una de las tres zonas térmicas. La hoja cuenta con un Botón de Comando denominado "Exportar Imagen de las tablas", tres Listas desplegables, una celda que informa sobre la velocidad del aire interior, y dos tablas de resultados agrupadas verticalmente.

Al pulsar el Botón "Exportar Imagen de las Tablas", se ejecuta la macro "GuardaTablasToMesesAsImagen", la cual crea, dentro del mismo directorio

donde se encuentra el Libro Excel, una Carpeta denominada "Imágenes de Tablas" y, dentro de ella, se crea una subCarpeta cuya designación coincide con los seis primeros caracteres del nombre del archivo de simulación que se encuentra seleccionado, los cuales hacen referencia al número de la Fase de simulación (Fase 1, Fase 2, Fase 3, etc....).

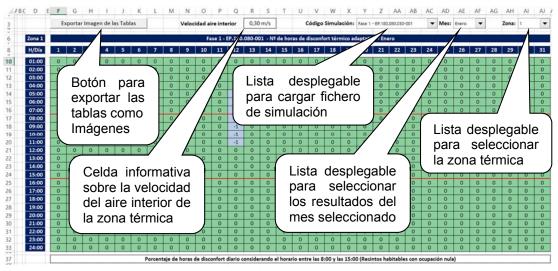


Fig. 3.55 - Vista parcial del encabezado de la Hoja "Tablas To Días".

Fuente: Elaboración propia.

En la lista desplegable "Código de simulación" se selecciona el fichero de simulación, el cual se carga al activarse la macro "Abrir Archivo". Una vez cargado el fichero de simulación; con las listas desplegables "Mes" y "Zona", se seleccionan tanto el mes de cálculo como la zona térmica cuyos datos se cargarán en las correspondientes tablas. De forma automática, en la celda "Velocidad aire interior" se carga el dato correspondiente a la velocidad del aire interior de la zona térmica seccionada.

A partir de los cálculos horarios realizados, se realiza la presentación de resultados en dos tablas superpuestas verticalmente. En la tabla superior se representa, para la zona térmica seleccionada y para cada hora y día del mes, el número de horas de la temperatura operativa en relación a la zona de confort, empleándose para ello un código de colores asociado a un valor numérico (-1, 0, 1), con el siguiente significado:

- -1 Temperatura operativa por debajo del límite inferior de confort
- Temperatura operativa dentro de los límites de confort
- 1 Temperatura operativa por encima dentro de los límites de confort

Fig. 3.56 - Código de colores según el valor del contenido de las celdas. Fuente: Elaboración propia.

Zona 1										Fa	se 1 - I	EP.180	.080-0)1 - Nº	de hor	as de c	lisconf	ort téri	mico ac	laptati	vo - Ene	ero									
H/Día	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
01:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
02:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
03:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
04:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
05:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
06:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
07:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
08:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
09:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
19:00 20:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24:00	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Ľ	_							-						-	_	_		. (2						-					
							orcent	taje de	horas o	ae disc	ontort	diario d	onside	rando (ei norai	rio entr	e ias 8	:UU y la	as 15:0	U (Reci	ntos ha	bitable	s con o	cupaci	on nula	1)					
2%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	29%	13%	0%	0%	4%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
270				0%							6%							1%					•			0'	%				

Fig. 3.57 - Representación horaria de disconfort térmico, para cada día del mes. Fuente: Elaboración propia.

En la tabla de la Fig. 3.57 figuran las horas en que, para el uso residencial, la zona habitable se considera desocupada; esta condición se ha representado por medio de dos líneas horizontales de color rojo, coincidentes con las 8:00 y las 15:00 horas. En la parte inferior de la tabla, a pie de las columnas del día del mes, se han dispuesto los valores diarios del porcentaje de horas en que la temperatura operativa se encuentra fuera de los límites de confort. En la última fila, bajo los valores diarios, se representa el porcentaje de horas semanales en que la temperatura operativa se encuentra fuera de los límites de confort. En el margen izquierdo de la tabla, y bajo la columna de horas, figura el porcentaje de horas anuales en que la temperatura operativa se encuentra fuera de los límites de confort.

En la tabla inferior, se representa, para cada hora y día del mes, el valor de la temperatura operativa de la zona térmica.

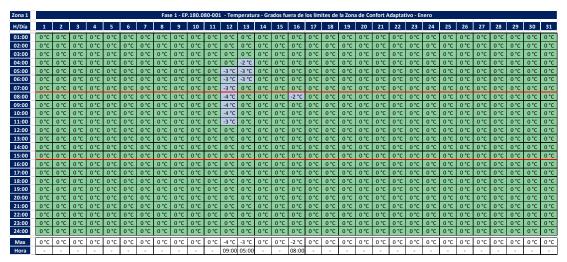


Fig. 3.58 - Representación del valor de la temperatura operativa para cada día del mes. Fuente: Elaboración propia.

En la parte inferior de la tabla (Fig. 3.58), se ha dispuesto el valor máximo de la temperatura para cada uno de los días del mes, figurando en la fila inferior, la hora en que se produce el referido valor máximo.

Hoja "Gráficos To Zonas":

En esta Hoja se exponen, de forma gráfica, los resultados de la temperatura operativa (θ_0) del aire interior de cada una de las tres zonas térmicas, en relación a los límites de confort adaptativo. La hoja cuenta con cuatro listas desplegables (zona, año-mes, semana y día), y un botón un Botón de Comando denominado "Exportar Gráfico".

Al pulsar el Botón "Exportar Gráfico", se ejecuta la macro "ExportarlmagenGrafico_To", la cual crea, dentro del mismo directorio donde se encuentra el Libro Excel, una Carpeta denominada "Imágenes de Gráficos" y, dentro de ella, se crean seis subcarpetas, correspondientes cada una de ellas con las seis fases de las simulaciones (Fase 1, Fase 2, fase 3, ...). Dentro de cada una de estas seis subcarpetas, se crean otras tres subcarpetas, correspondientes a cada una de las tres zonas térmicas. Finalmente, dentro de cada una de estas subcarpetas, correspondientes a cada zona térmica, se guardan los ficheros correspondientes a cada uno de los gráficos, cuya

designación coincide con los seis primeros caracteres del nombre del archivo de simulación que se encuentra seleccionado, los cuales hacen referencia al número de la Fase de simulación (Fase 1, Fase 2, Fase 3, etc....).

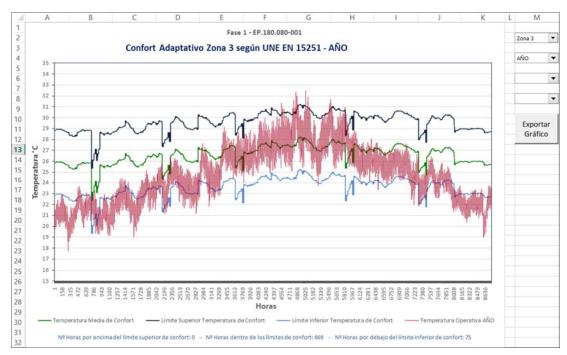


Fig. 3.59 - Vista general de la Hoja "Gráficos To Zonas".

Fuente: Elaboración propia.

Hoja "Gestión de Resultados":

Esta Hoja se divide en cuatro franjas diferentes, en las que se exponen tanto datos como resultados. En las filas de la 1 a la 3 se representan los encabezados de cada una de las franjas de datos o resultados que componen la hoja. Desde la fila 5 a la 22.036, se presentan los datos o resultados, que están en función de la franja que se visualice.

En la columna "A", de la fila 5 a la 20.036 figura el número de orden de los ficheros de simulación, que van del 1 al 20.032. En el margen superior de la hoja, celdas "A1" "A2" y "A3", existen tres botones de comando denominados: "On", "Off" y "Datos", respectivamente.

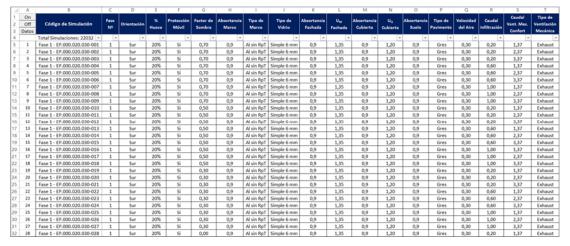


Fig. 3.60 - Vista general Hoja "Gestión de Resultados", en la que se muestra de la franja correspondiente a los datos de las simulaciones.

Fuente: Elaboración propia.

Al pulsar el botón de comando "On", se despliega una ventana emergente en la que figuran cuatro botones de opción (Option Button), dando la posibilidad al usuario de escoger una determinada zona térmica, o todas las zonas térmicas al mismo tiempo. Al seleccionar una de esas opciones, se muestra en la celda "A4" la opción escogida, al tiempo que se realiza un filtrado de aquellos datos que cumplen con las condiciones de control establecidas, a saber:

- a) Se encuentran el 100% de las horas dentro de los límites de confort.
- b) Un 15% de las horas del día se encuentran fuera de los límites de confort.
- c) Un 10% de las horas de la semana se encuentran fuera de los límites de confort.
- d) Un 5% de las horas del mes se encuentran fuera de los límites de confort.
- e) Un 3% de las horas anuales se encuentran fuera de los límites de confort.

Al pulsar el botón "Off" se deshace el filtrado elegido, mostrándose los datos o resultados del total de las 20.032 simulaciones. Al pulsar el botón "Datos" se realiza un filtrado según la fase de simulación, mostrándose en la celda "B4" el número total de simulaciones correspondientes a la fase de simulación seleccionada.

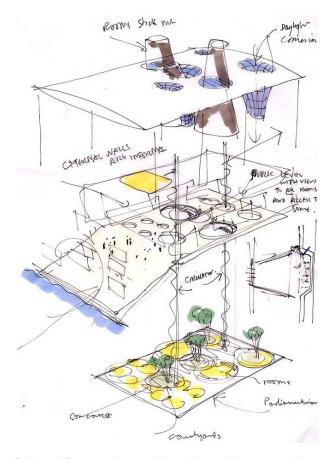
En la columna "B" se relacionan los nombres correspondientes a los ficheros de las distintas simulaciones realizadas, mostrándose ordenados por fase de trabajo desde la fila 5 a la 20.036.

La primera franja abarca desde la columna "C" a la "T", y en ella se muestran los datos fundamentales correspondientes a cada uno de los ficheros de simulación, y que ha servido para la realización de los correspondientes cálculos energéticos.

En la segunda franja, que abarca desde la columna "V" a la "BQ" y desde la fila 5 a la 20.036, se exponen los resultados correspondientes a la Zona 1, que representan el porcentaje de horas semanales en que la temperatura operativa de esa zona térmica se encuentra dentro o fuera de los límites de confort adaptativo. Exactamente lo mismo sucede en las franjas tres y cuatro, correspondientes a la Zona 2 (columna "BS" a la "DN") y Zona 3 (columna "DP" a la "FK"), respectivamente.

Hojas "Resultados Fase X":

En las Hojas "Resultados Fase 1" a "Resultados Fase 6" se muestran, para cada orientación y zona térmica, los datos correspondientes a los ficheros de simulación que cumplen, en las condiciones más favorables, con las condiciones de confort establecidas.



Richard Rogers. Ilustración de las chimeneas del techo y otros diseños de ahorro de energía en el Senedd, casa de la Asamblea Nacional de Gales

4.- SIMULACIONES ENERGÉTICAS

4.1.- METODOLOGÍA

Tal y como se enunció en el Capítulo 1, el objetivo general del presente trabajo de investigación se centra en determinar estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático que, aplicadas a edificios residenciales ubicados en regiones con clima desértico cálido, en especial el de las costas de las Islas Canarias, garanticen que la temperatura operativa de sus recintos habitables se mantienen dentro de la zona de confort establecida por el modelo adaptativo.

Para ello será necesario evaluar, mediante simulaciones informáticas, el comportamiento energético de los recintos habitables, y detectar aquellos aspectos y elementos que influyen en el balance térmico de los mismos, en relación al confort térmico de sus ocupantes, para poder dotar al arquitecto de recursos proyectuales que le permitan abordar con garantías el diseño de edificios nZEB.

"En lugares desérticos cálidos, hay un importante potencial de ahorro de energía relacionados con el uso de rangos de consigna variables en función de la temperatura exterior. La aplicación práctica de la estrategia de control para fijar estos puntos consigna variable en un edificio sería extremadamente fácil y rentable, algo que sugiere una mayor investigación sobre el confort adaptativo para los edificios con aire acondicionado. Por tanto, las herramientas de cálculo deben ser capaces de hacer frente a este nuevo enfoque". (Álvarez, et al, 2010, p. 23).

La simulación energética, mediante la modelización por ordenador de un edificio y su entorno, permite evaluar su comportamiento energético con bastante precisión, asemejándose los resultados a los que pudieran obtenerse en una medición in situ, con la salvedad de que no es necesario hacer una medición real. Los programas de simulación energética se han convertido en una importante herramienta de evaluación que permite calcular el

comportamiento de los edificios a través de la evolución de determinadas variables. Alcanzar el objetivo enunciado anteriormente, requiere el análisis de múltiples variables que se ven afectadas tanto por el diseño arquitectónico del edificio, como por la actitud y comportamiento de los usuarios.

El diseño arquitectónico está relacionado, entre otros, con las siguientes variables:

- El clima del lugar donde se ubica el edificio
- La orientación del edificio
- La forma del edificio (compacidad)
- La transmitancia térmica de la envolvente (opaca y semitransparente)
- El factor solar de los huecos (protecciones solares fijas y móviles)
- El porcentaje de huecos, en relación al cerramiento opaco
- Estanqueidad de la envolvente (infiltraciones)
- Ventilación natural y mecánica

La actuación de los usuarios está relacionada con las siguientes variables:

- La actividad que desarrolla
- La vestimenta
- La maniobra de las protecciones solares móviles
- La apertura y cierre de ventanas (ventilación natural)
- El control del caudal y la velocidad del aire interior (ventilación mecánica)

El empleo de una apropiada metodología de optimización energética, y su aplicación al diseño arquitectónico de edificios nZEB, permitirá extraer conclusiones relativas a aquellas pautas de diseño pasivo que sean capaces de optimizar los aspectos proyectuales y constructivos del edificio.

Las simulaciones energéticas en régimen dinámico, a través del análisis del balance energético de los recintos habitables, requiere de un tiempo de ejecución prolongado en el que se debe verificar, mediante el análisis de resultados, si para esa configuración las variables paramétricas programadas

cumplen con las condiciones de tolerancia establecidas. Durante el proceso de cálculo, y debido a que las variables no son independientes, el hecho de que no se cumplan las condiciones establecidas, obliga a proceder a la realización de los ajustes necesarios, en aquellos parámetros más sensibles, para volver a reiniciar el procesamiento de datos. Este procedimiento se mantiene de forma reiterada, hasta que se logren establecer las condiciones de confort deseadas, para cada uno de los recintos y para cada una de las ocho orientaciones.

En el presente trabajo de investigación se analizan múltiples variables, relacionadas todas ellas con el diseño bioclimático de edificios, tales como: clima, orientación, transmitancias térmicas de la envolvente (opaca y semitransparente), porcentaje de huecos en relación a la superficie del cerramiento, velocidad del aire interior, caudal de ventilación, ventilación natural nocturna, etc.... Debido a ello, como metodología de análisis se ha empleado el estudio paramétrico simple, puesto que, a pesar de que las variables son dependientes entre sí, lo que se pretende investigar es la combinación de variables que, con los sistemas constructivos más elementales, logran establecer las condiciones de confort deseadas en cada uno de los espacios habitables, descartándose en el estudio el nivel de impacto e influencia que cada una de ellas pueda tener en los resultados.

El estudio se basa en el análisis, en cada una de las zonas térmicas, de la temperatura operativa interior para verificar si esta se mantiene dentro de los límites establecidos en el modelo de confort adaptativo, para una categoría del ambiente interior tipo II, que equivale a un porcentaje previsto de insatisfechos (PPD) menor del 20%, conforme a lo establecido en la norma EN 15251.

La metodología que se ha seguido, para dar respuesta a los objetivos enunciados, ha consistido en dividir el trabajo de investigación en las siguientes etapas:

- Selección del software de simulación y validación del método de cálculo.
- Definición de las variables y sus rangos
- Ejecución de las simulaciones paramétricas en EnergyPlus
- Análisis de los resultados.

Dadas las múltiples variables que intervienen en el comportamiento térmico de los espacios habitables, ha sido necesario fragmentar la ejecución de las simulaciones en las siguientes fases complementarias, que se ejecutan de forma secuencial:

• Fase 1:

En esta primera etapa del trabajo se establece una configuración básica de los parámetros característicos de la envolvente, manteniéndose como variables fijas, y se realizan tres cálculos paramétricos simples realizando variaciones en los valores del factor de sombra del hueco, el caudal de infiltración de aire y el caudal de aire de la ventilación de confort.

Además, se realizan cálculos para cuatro configuraciones de la relación hueco/cerramiento de fachada, y para cada una de las 8 orientaciones de fachadas establecidas en el Documento Básico HE 1 del CTE.

• Fase 2:

Para todas aquellas configuraciones básicas que no cumplieron con las condiciones de confort establecidas en la Fase 1, en esta etapa de la investigación se procede a efectuar el ajuste de uno de los parámetros característicos de la envolvente, manteniéndose el resto como variables fijas. En concreto se modifica la transmitancia térmica de la cubierta, dejando de ser una variable fija y pasando a formar parte del cálculo paramétrico. Con ello, los cálculos paramétricos simples pasan a ser cuatro, a saber: la transmitancia térmica de la cubierta, el factor de sombra del hueco, el caudal de infiltración de aire y el caudal de aire de la ventilación de confort.

De la misma forma que en la Fase 1, se realizan simulaciones para las cuatro configuraciones de la relación hueco/cerramiento, y para cada una de las 8 orientaciones de fachadas.

• Fase 3:

Las configuraciones que en la fase 2, no han cumplido con las condiciones de confort requeridas, se reconfiguran en esta etapa, procediéndose a efectuar un nuevo ajuste en uno de los parámetros característicos de la envolvente, en concreto se modifica la transmitancia térmica del hueco, mediante la modificación del vidrio, pero en esta ocasión se mantiene como una variable fija, puesto que tan solo se mejoran las prestaciones de aislamiento térmico y factor solar. Con ello, los cálculos paramétricos simples continúan siendo cuatro, ya que se mantienen como variable, la transmitancia térmica de la cubierta, el factor de sombra del hueco, el caudal de infiltración de aire y el caudal de aire de la ventilación de confort. Al igual que en las anteriores fases, se realizan simulaciones para cuatro configuraciones de la relación hueco/cerramiento de fachada, y para cada una de las 8 orientaciones de fachadas.

• Fase 4:

En esta fase se pretende evaluar si la capacidad térmica, de los materiales de acabado del suelo de los recintos habitables, pueden modificar las favorables condiciones ambientales obtenidas.

Como es sabido, según sea la geometría de los espacios y la posición del sol respecto al edificio, la radiación solar que penetra por las superficies semitransparentes incide sobre las superficies interiores y sobre el mobiliario, siendo una parte de ella absorbida por estos. El calor absorbido depende del ángulo de incidencia de la radiación sobre la superficie y de la absortancia (α) de la superficie del material.

La absortancia es la fracción de la radiación incidente "atrapada" por la superficie, mientras que el resto puede ser reflejada, e incluso transmitida (rechazada al exterior) si la superficie es parcialmente transparente.

En la práctica, la radiación absorbida se distribuye entre el calentamiento del material que está detrás de la superficie por conducción y acumulación, se disipa en el aire en contacto con la superficie por convección, o se reenvía al exterior como irradiación infrarroja. (Martín, 2006a, p. 34).

El suelo de los espacios habitables es la superficie que mayor radiación solar directa recibe, por ello resulta relevante evaluar el efecto que esta superficie puede tener sobre las condiciones ambientales interiores, máxime cuando es un elemento constructivo que, a lo largo del tiempo, puede verse sometido a la arbitrariedad de los usuarios, no pudiéndose considerar, por tanto, como una invariante.

Por ello, y una vez que se ha logrado acertar con el conjunto de parámetros constructivos que, combinados entre sí, son capaces de cumplir con el objetivo de satisfacer las condiciones de confort interior establecidas, se procede, a establecer como variables fijas los parámetros constructivos que, para cada una de las cuatro relaciones hueco/cerramiento y 8 orientaciones de fachadas, han conseguido cumplir con los requisitos de confort estipulados. Con ello, los cálculos paramétricos simples pasan a ser tres, a saber: la capacidad térmica del pavimento interior, el factor de sombra del hueco y el caudal de aire de la ventilación de confort.

Al igual que en los casos anteriores, en este caso también se realizan simulaciones para las cuatro configuraciones de la relación hueco/cerramiento, y para cada una de las 8 orientaciones de fachadas.

• Fase 5:

Para todas aquellas simulaciones que, en la fase 4, no han logrado cumplir con los escenarios previstos, se procede a efectuar un nuevo ajuste en

aquellos parámetros característicos de la envolvente que puedan mejorar dichas condiciones. En concreto se modifica, de forma individualizada para cada orientación, o bien la transmitancia térmica de la cubierta o bien la transmitancia térmica de hueco; manteniéndose en cualquier caso como una variable fija. Con ello, los cálculos paramétricos simples continúan siendo cuatro, ya que se mantienen como variable, la transmitancia térmica de la cubierta, el factor de sombra del hueco, el caudal de infiltración de aire y el caudal de aire de la ventilación de confort. Al igual que en la fase anterior, los cálculos paramétricos simples pasan a ser tres: la capacidad térmica del pavimento interior, el factor de sombra del hueco y el caudal de aire de la ventilación de confort.

• Fase 6:

Aquellos Fase 5 serán estudiados casos que no superen la pormenorizadamente, con el propósito de determinar qué parámetros, y en qué condiciones, están frustrando el objetivo de alcanzar las condiciones de confort deseadas. Este estudio de sensibilidad se efectuará a nivel horario. analizando aquellas horas del año en se produce tal incumplimiento. La sistemática seguida pretende determinar, con mayor exactitud, la variable que más puede influir en alterar las condiciones existentes en ese momento y, poder así, proponer modificaciones eficaces que permitan calibrar un conjunto de estrategias bioclimáticas, capaces de cumplir con las exigencias requeridas.

Podemos **concluir** que la metodología aplicada, en este trabajo de investigación, implica un proceso de tomas de decisiones concatenadas, cuya finalidad es la de implementar, en los proyectos arquitectónicos, un conjunto de estrategias de diseño bioclimático que garanticen, por sí mismas, condiciones ambientales higrotérmicamente aceptables, para la mayoría de los usuarios que ocupan espacios habitables de edificios ubicados en zonas

climáticas desérticas cálidas de cualquier lugar del mundo, aunque el estudio haga especial énfasis en el clima específico de las costas de las Islas Canarias.

En resumen, aplicar la metodología propuesta anteriormente implica que, además de garantizar condiciones de confort más que aceptables durante el periodo de una año, la demanda de calefacción y refrigeración es nula, ya que el bienestar térmico se alcanza a través del diseño arquitectónico, mediante la implementación de estrategias de diseño pasivo, que hacen innecesario recurrir a sistemas mecánicos de climatización. En base a lo anteriormente expuesto se puede concluir que, estableciendo exigencias sobre el consumo de energía primaria de ACS y en el sistema de ventilación, los referidos edificios alcanzan la categoría de Edificios de Energía Casi Nula (nZEB), obteniendo con ello la máxima calificación energética posible.

4.2.- SELECCIÓN DEL SOFTWARE DE SIMULACIÓN

Para analizar y estudiar con detalle el funcionamiento energético de las zonas térmicas (zonas que quedan definidas por un volumen de aire, a temperatura uniforme, y todas las superficies de transferencia o almacenamiento de calor, ya sean cargas internas o las superficies que bordean al volumen de aire), se ha recurrido a la herramienta de simulación energética computacional EnergyPlus.

EnergyPlus tiene sus orígenes en dos programas, el BLAST y DOE-2. BLAST (Building Loads Analysis and System Thermodynamics) y DOE-2 fueron desarrollados y liberados en la década de 1970 y principios de 1980 como herramientas de simulación energética.

Nacido de las preocupaciones por la crisis energética de la década de 1970, y el reconocimiento de que el sector de la edificación es un componente importante en el consumo energético de América, los dos programas intentaron resolver el mismo problema desde dos perspectivas ligeramente diferentes. Ambos programas tienen sus ventajas e inconvenientes, sus partidarios y detractores, y las bases sólidas de usuarios tanto a nivel nacional como internacional.

Al igual que sus programas padres, EnergyPlus es un programa de simulación energética de edificios, que modela y calcula las cargas térmicas de calefacción y refrigeración, la iluminación, la ventilación y otros flujos energéticos. A partir de la descripción de un edificio, geometría, localización, orientación, sistemas mecánicos, etc..., EnergyPlus calcula las cargas térmicas de calefacción y refrigeración, el consumo de energía de los equipos etc..., realizando una simulación igual que un edificio en situación real.

Aunque, EnergyPlus es una herramienta muy avanzada para realizar simulaciones, también es una herramienta muy compleja, ya que requiere un alto grado de experiencia y conocimiento, y termina siendo una herramienta poco utilizada entre profesionales de la arquitectura y la ingeniería, y algo utilizada en centros de investigación.

Ningún programa es capaz de manejar todas las situaciones de simulación. Sin embargo una de las grandezas de EnergyPlus es que intenta abarcar tantas construcciones como le es posible, y muchos diseños de HVAC a la hora de poder escoger la mejor opción.

EnergyPlus utiliza como motor de cálculo el método del Balance de Calor ("Heat Balance Method"). Este método modela los siguientes componentes de la transferencia de calor:

- a) Conducción a través de los materiales del edificio
- b) Convección del aire
- c) Absorción y reflexión de la radiación de onda corta,
- d) Intercambio radiante de onda larga.

Para ello, en EnergyPlus se divide el edificio en distintas zonas térmicas, y para cada una de ellas se plantea el balance de calor, cuya incógnita es la evolución de la temperatura media de la zona T_z en el tiempo t, aplicando la siguiente ecuación:

$$C_Z \cdot \frac{dT_Z}{dt} = Q_{si} + Q_f + Q_{inf} + Q_{mez} + Q_{sis}$$
 [4.01]

Donde:

 $C_Z \cdot \frac{dT_Z}{dt}$ = Energía almacenada en el aire de la zona

 $C_Z = \rho_{air} \cdot C_p \cdot C_T$

ρ_{air} = Densidad del aire

 C_p = Calor específico del aire

C_T = Multiplicador de calor sensible de la zona

Qsi = Transferencia de calor convectivo desde las superficies de la zona

Qf = Transferencia de calor convectivo debido a las fuentes internas de calor

Q_{inf} = Transferencia de calor por infiltración del aire exterior

Q_{mez} = Transferencia de calor debida a la mezcla del aire entre la zona analizada y las zonas adyacentes

Q_{sis} = Transferencia del calor removido o añadido por el sistema de climatización (HVAC)

La radiación de onda corta incidente proviene, por un lado de la radiación solar que llega a las zonas a través de las superficies semitransparentes, y por otro lado, de las fuentes internas de luz. El intercambio de radiación de onda larga incluye el grado de absorción y de emisión de fuentes de baja temperatura, de otras fuentes como el equipamiento y las personas, entre otras.

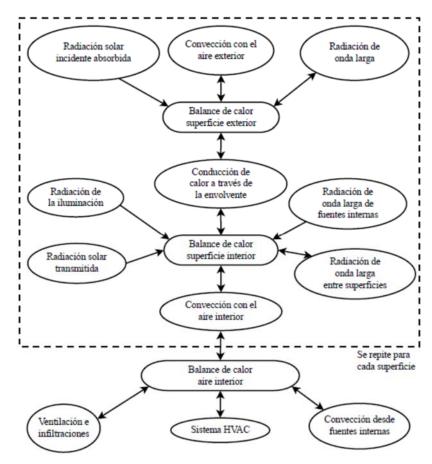


Fig. 4.1 - Esquema del Método de Balance de Calor. Fuente: Soto, 2012, p. 32

El Método Detallado de Convección Natural (Natural Convection Detailled Method), utilizado en este programa, correlaciona los coeficientes de transferencia de calor con la orientación de la superficie y con la diferencia de temperatura entre la superficie y el aire. El algoritmo es tomado del manual ASHRAE (15). En él se detallan coeficientes de convección para placas verticales u horizontales en régimen turbulento.

El calor metabólico producido por una persona incluye componentes convectivas, radiactivas y latentes. Un algoritmo interno determina la fracción que corresponde a calor sensible y a calor latente. Luego, el calor sensible es dividido en partes iguales entre calor radiativo y convectivo. Los datos sobre generación de calor metabólico son obtenidos del manual ASHRAE.

La radiación solar incluye la radiación solar directa y difusa que inciden en las zonas creadas para el estudio. Se asume que toda la radiación directa es absorbida por el piso de la zona de acuerdo a las propiedades de este. Nada de lo reflejado en el piso es añadido a la radiación difusa transmitida, la cual, se asume uniformemente distribuida en las superficies interiores.

EnergyPlus se ha sometido a diversos test de validación internacional que permiten contrastar sus prestaciones y posibilidades. La metodología de mayor reconocimiento internacional es el BESTEST, desarrollado por la International Energy Agency (I.E.A), Building Energy Simulation Test; EnergyPlus ha superado sin problemas el referidos BESTEST de la I.E.A.

A continuación se exponen algunas de las características más representativas de las capacidades de EnergyPlus. Si bien esta lista no es exhaustiva, se pretende dar una idea de la rigurosidad y la aplicabilidad de EnergyPlus a diversas situaciones de simulación:

- Solución integrada y simultánea, donde la respuesta del edificio y los sistemas primario y secundario están fuertemente acoplados (lleva a cabo iteraciones cuando es necesario).
- Muestras Temporales, el usuario puede definir intervalos de tiempo para la interacción entre las zonas térmicas, temperatura ambiente, y de los sistemas.
- Texto ASCII tanto el archivo climático, archivos de entradas y de salida, que incluyen las condiciones, la norma y los informes definibles por el usuario, respectivamente.
- Balance Térmico, Técnica de solución basada en el equilibrio de calor para la construcción de las cargas térmicas que permite el cálculo simultáneo de los efectos radiantes y convectivos, tanto en la superficie interior y exterior durante cada paso de tiempo

- Conducción de calor transitorio a través de elementos de construcción tales como paredes, techos, pisos, etc., utilizando funciones de conducción.
- Mejora de la transferencia de calor de modelado a través del enlace al modelo tridimensional y la simplificación de las técnicas analíticas.
- Modelos de confort térmico, basado en la actividad, humedad, etc.
- Modelo de cielo anisotrópico para mejorar el cálculo de la energía solar difusa en las superficies inclinadas
- Cálculos de acristalamientos avanzado, incluyendo persianas controlables, cristales múltiples capa por capa, balances térmicos que permiten la asignación adecuada de la energía solar absorbida por los cristales de las ventanas, y una biblioteca de numerosas ventanas disponibles en el mercado.
- Controles de iluminación natural, incluyendo cálculos interiores de iluminancia, simulación y control del deslumbramiento, controles de luminarias, y el efecto de la reducción de la iluminación artificial en calefacción y refrigeración.
- Lazos configurables basado en los sistemas de ventilación y climatización (HVAC), tanto convencional como radiante, que permite un modelo de sistemas típicos y los sistemas ligeramente modificados sin tener que recompilar el código fuente del programa.
- Cálculos de contaminación atmosférica que predicen CO₂, SO_x, NO_x, CO, partículas, hidrocarburos y la producción tanto en el lugar y la conversión de energía a distancia.

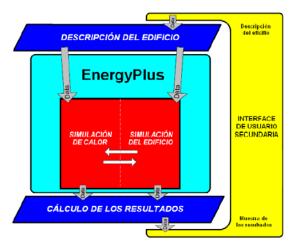


Fig. 4.2 - EnergyPlus Estructura simplificada.

Fuente: Manual de ayuda DesignBuilder en español

Una de las grandes desventajas de EnergyPlus, es que no tiene una interfaz de usuario. Su objetivo es ser el motor de simulación en torno a una interfaz secundaria, sus entradas y salidas de datos son simple texto. En los últimos tiempos han surgido diversos diseñadores de interfaz gráfica, que han creado herramientas de calidad capaces de interaccionar con EnergyPlus de forma más amigable, atendiendo con ello a las numerosas demandas del mercado. Esta exoneración de la parte gráfica, le permite liberar recursos para potenciar la producción de algoritmos, con el fin de mantener el ritmo del mercado y las demandas de los profesionales, EnergyPlus saca al mercado, de manera gratuita, una versión nueva y mejorada cada seis meses.

Para solucionar este problema de falta de interfaz gráfica, los usuarios se ven obligados a recurrir a software complementario, en el que resulte asequible definir la configuración geométrica de los edificios, así como los diferentes parámetros de la simulación energética.

De las interfaces gráficas de usuario para EnergyPlus, especializada en la simulación ambiental y energética de edificios, la que más destaca actualmente en el mercado es DesignBuilder. Esta aplicación ha sido concebida para facilitar los procesos de simulación, y ofrece diversas herramientas de alto desempeño para el diseño, la consultoría y la

certificación energética. El programa tiene una estructura modular, con un avanzado modelador 3D que funciona como núcleo.

A través de su interfaz gráfica DesignBuilder permite crear modelos de edificios volumétricamente realistas (Modelado 3D), en un ambiente tridimensional, con relativa facilidad. El concepto central de modelado con DesignBuilder es la creación de bloques. Se trata de formas geométricas básicas que se puedan ensamblar, mover y transformar fácilmente. Los bloques se generan dibujando perímetros en dos dimensiones sobre planos horizontales, verticales o inclinados, los cuales luego se extruyen para generar formas tridimensionales.

En las versiones más recientes de DesignBuilder también es posible aplicar operaciones geométricas booleanas como la Unión, donde 2 bloques se combinan en uno solo, Intersección, donde se crea un nuevo bloque a partir de la región compartida por dos bloques y Sustracción, donde se resta un bloque de otro para formar un bloque nuevo.

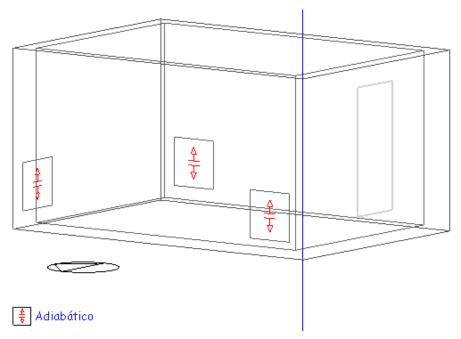


Fig. 4.3 - Modelado 3D en DesignBuilder. Fuente: Elaboración propia.

Son 8 los módulos de análisis disponibles, cada uno de los cuales ofrece un tipo de análisis específico. Los módulos se integran entre sí para facilitar análisis detallados del desempeño ambiental y energético de los edificios.

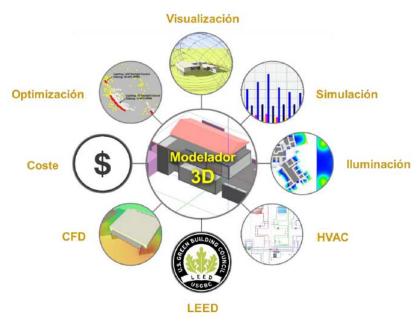


Fig. - 4.4 - Módulos de análisis disponibles en DesignBuilder. Fuente: Manual de ayuda DesignBuilder en español

Módulo Visualización:

El **módulo Visualización**, basado en la tecnología *OpenGL*, ofrece un entorno en el cual los modelos virtuales se muestran en forma de perspectivas renderizadas, es decir, con texturas foto-realistas. Esta función no solo permite generar imágenes que enriquecen los reportes de análisis y amplían los recursos de comunicación con el cliente, sino que constituye una valiosa herramienta para estudiar el impacto del soleamiento en el edificio.

Al incluir las sombras en las vistas renderizadas es posible llevar a cabo estudios detallados de soleamiento para cualquier hora y día del año, evaluando:

 La forma en que el sol ingresa a los espacios interiores a través de las superficies transparentes.

- La efectividad de los elementos y dispositivos de sombreado.
- Las sombras arrojadas por elementos y edificaciones del entorno.

Desde la versión 3 de DesignBuilder es posible incluir un diagrama 3D de recorridos solares correspondiente a los datos de ubicación geográfica del sitio. Se trata de una herramienta de gran utilidad para efectuar análisis visuales del impacto de la radiación solar durante periodos específicos.

El módulo Simulación integra el motor de cálculo de EnergyPlus, siendo posible desarrollar simulaciones dinámicas avanzadas en tiempo real, empleando archivos de datos climáticos horarios, así como cálculos de dimensionamiento de los sistemas HVAC. Puede ser usado para análisis tanto en modo mecánico (con sistemas HVAC) como en modo pasivo. El módulo Simulación ofrece, entre otras cosas:

- Cálculos de dimensionado de los sistemas de calefacción y refrigeración, a partir de condiciones de diseño.
- Simulaciones dinámicas a partir de datos climáticos horarios.
- Evaluación de estrategias de climatización pasiva: ventilación natural, aprovechamiento de las ganancias solares, sombreado, uso de masa térmica, etc.
- Cálculo de las cargas, demandas y consumos energéticos, así como emisiones de CO₂, asociados a los sistemas de climatización, iluminación y agua caliente sanitaria.
- El método de cálculo *Ideal Loads Air System* es extremadamente útil y versátil para evaluar el desempeño de los edificios sin modelar sistemas HVAC detallados.

El módulo lluminación Natural es una excelente herramienta para evaluar y optimizar el uso de la luz natural en los edificios, estrategia que permite mejorar las condiciones de confort lumínico y al mismo tiempo reducir las cargas térmicas y los consumos energéticos asociados a la iluminación

artificial. Mediante el motor de cálculo de **Radiance**, este módulo permite calcular parámetros del desempeño lumínico entre los que se encuentran los niveles de iluminancia y los factores de luz diurna. También permite generar informes de créditos para LEED, BREEAM y Green Star.

El **módulo Coste** permite evaluar las implicaciones económicas del desempeño ambiental y energético de los edificios, considerando los costes de construcción, los costes de la energía y los costes asociados a su ciclo de vida. Todo ello con base en el mismo modelo empleado para el análisis energético.

El **módulo Optimización** emplea algoritmos evolutivos para identificar más fácilmente las alternativas de proyecto que ofrecen el mejor desempeño en términos de coste, energía y/o confort, considerando un amplio rango de variables, objetivos y restricciones de diseño. Esto permite justificar decisiones de diseño en forma mucho más sólida y consistente.

El **módulo HVAC** ofrece una poderosa y flexible herramienta para acceder a las funciones avanzadas de análisis de sistemas HVAC que proporciona **EnergyPlus**, a partir de una interfaz gráfica amigable. Con éste módulo es posible simular un amplio rango de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, así como modelar con gran detalle cada uno de sus componentes. Incluye todos los sistemas HVAC de referencia del estándar ASHRAE 90.1, que se usa en sistemas de certificación como LEED.

El **módulo LEED** ofrece una serie de funciones para evaluar el cumplimiento de los créditos de Energía (EAp2) del sistema de certificación LEED, mediante el modelado del edificio y sus sistemas conforme al Apéndice G del estándar ASHRAE 90.1 2007 y 2010. Durante el ciclo de desarrollo de la v4 de DesignBuilder se tiene previsto incluir funciones como la generación automática del edificio base y la simulación de las 4 orientaciones.

El **módulo CFD**, Dinámica Computacional de Fluidos (CFD, por sus siglas en inglés), se refiere a un grupo de modelos matemáticos empleados para

calcular las propiedades de fluidos contenidos en un ámbito determinado. El módulo **CFD** de DesignBuilder permite predecir de manera efectiva y detallada el movimiento del aire y la distribución de temperaturas, entre muchos otros aspectos, en los espacios arquitectónicos. Emplea los mismos métodos que los programas de CFD genéricos, pero no exige tener conocimientos altamente especializados en el campo.

Con **DesignBuilder** es posible llevar a cabo diversos análisis relacionados con el desempeño ambiental y energético de los edificios, incluyendo sus sistemas mecánicos. Algunos de ellos se indican a continuación:

- Calcular, mediante simulaciones dinámicas con datos climáticos reales, los consumos energéticos y las emisiones de CO₂ asociados a los sistemas de climatización y agua caliente sanitaria, los sistemas de iluminación artificial y los equipos.
- Determinar la capacidad de los sistemas mecánicos de calefacción y refrigeración, cuando estos sean necesarios para mantener condiciones adecuadas de confort en los edificios, mediante datos específicos de diseño.
- Evaluar los niveles de confort que se pueden lograr en edificios sin sistemas de climatización mecánicos, es decir, funcionando en modo pasivo.
- Hacer análisis comparativos de distintas configuraciones arquitectónicas, incluyendo la forma general, la implantación en el sitio, la orientación, la distribución espacial interior y la disposición del acristalamiento.
- Comparar el impacto ambiental y energético de diversos materiales y sistemas constructivos empleados en la envolvente de los edificios,

incluyendo materiales de cambio de fase, cubiertas vegetales y fachadas ventiladas.

- Comprobar las mejoras ambientales y energéticas logradas con diferentes sistemas de acristalamiento, incluyendo el tipo de vidrio (claro, reflectante, bajo emisivo, espectral) el número de hojas y las características de marcos y divisores.
- Evaluar el impacto ambiental y energético de dispositivos de sombreado y control solar, como lamas, voladizos, laterales, persianas y pantallas. Algunos de estos elementos se pueden colocar en el exterior, en el interior o entre vidrios.
- Evaluar el impacto de la **ventilación natural** como recurso de enfriamiento pasivo, ya sea como estrategia única o en combinación con sistemas mecánicos de climatización (modo mixto).
- Determinar el potencial de aprovechamiento de la luz natural para reducir los consumos asociados a los sistemas de iluminación artificial, mediante el uso de sensores lumínicos y controles automatizados.
- Determinar de manera más detallada el desempeño lumínico del edificio, incluyendo mapas de distribución y tablas de factores de luz diurna, mediante el módulo de Iluminación Natural (que emplea el motor de cálculo Radiance). Incluye reportes para LEED EQ8.1, BREEAM HW1 y Green Star IEQ4.
- Evaluar y comparar el desempeño específico de un amplio rango de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, modelando a detalle cada uno de sus componentes, mediante el módulo HVAC Detallado. Incluye todos los sistemas HVAC de referencia del estándar ASHRAE 90.1, por lo que se puede usar en procesos de certificación LEED.

- Evaluar de manera detallada las condiciones ambientales en los espacios exteriores e interiores de los edificios, incluyendo aspectos como el movimiento del aire (dirección, velocidad, presión) y la distribución de temperaturas, mediante el módulo CFD.
- Desarrollar análisis paramétricos para evaluar de manera simultánea hasta dos variables de diseño (por ejemplo el tipo y proporción de acristalamiento). Este tipo de análisis puede ser muy útil en las fases iniciales del proyecto para determinar las opciones de diseño más adecuadas.
- Llevar a cabo análisis de optimización, mediante algoritmos genéticos, para evaluar un rango relativamente amplio de variables de diseño y determinar cuáles son las más eficientes para lograr dos objetivos (en ocasiones conflictivos) como reducir las emisiones de CO2 y minimizar los costos de inversión.

4.3.- CONFIGURACIÓN DE PARÁMETROS NECESARIOS PARA UNA CORRECTA SIMULACIÓN

4.3.1.- Modelización de recintos

El primer paso consistirá en crear un archivo Patrón que sirve de base para posteriormente generar las simulaciones paramétricas. El archivo Patrón se configura para el clima Alfa 3 de las costas de las islas Canarias, para la orientación Sur y con un porcentaje de relación Hueco/muro del 20%.

En DesignBuilder, al crear un nuevo proyecto, se abre una ventana de dialogo para introducir los datos del sitio, mediante la selección del archivo de plantilla, para este trabajo de investigación se selecciona la plantilla: "Zona Alfa3c-CTE 2013". El sitio queda definido por la latitud, longitud y altura sobre el nivel del mar. Una vez cargado el archivo, se define el nivel de exposición al viento y

la orientación del edificio; en nuestro caso se elige nivel de exposición normal y orientación Sur (0°).

Una vez configurado el Sitio, se procede a guardar el archivo Patrón creado, siguiendo el siguiente formato:

Fase X - DB.YYY.ZZZ.dsb

Donde:

X = Número de fase de la simulación (1 a 6)

DB = Indica que el fichero ha sido creado en DesignBuilder

YYY = Orientación del edificio (Sur= 000, SurOeste= 045, Oeste= 090,)

ZZZ = Porcentaje de relación Hueco/Muro (20%= 020, 40%= 040,)

Dsb = Extensión del archivo DesignBuilder

Siguiendo este formato, se ha guardado el archivo Patrón con el siguiente nombre: Fase 1 – DB.000.020.dsb



Fig. 4.5 - Ventana "Datos del Sitio".

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

Una vez definidas la ubicación y orientación del edificio, se pasa a la pestaña "Modelo" para proceder al modelado geométrico en 3D. Para ello se emplea la referencia DXF, previa importación del archivo de dibujo 2D, en formato DXF. Esta referencia permite posicionar un punto de trazo inicial o final en uno los puntos de extremo de las líneas de un dibujo DXF. Cuando el cursor se encuentra dentro del ámbito de influencia de la referencia se despliega un indicador verde.

El modelo se ha generado a partir de formas básicas de perímetro, con la forma "rectángulo", que permite generar perímetros rectangulares con cualquier proporción, ofreciendo mayor rapidez cuando se trabaja con formas regulares geométricamente sencillas. Cada uno de estos modelos define una Zona térmica. Se han configurado cuatro zonas, que se han superpuesto verticalmente para configurar un edificio de uso vivienda.

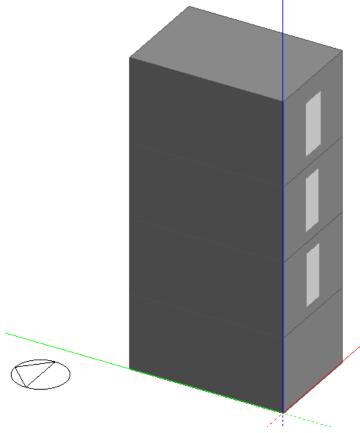


Fig. 4.6 - Modelado 3D del edificio y sus Zonas térmicas, con fachada orientada al Sur. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

El modelo 3D, y los datos asignados al mismo, se organiza a partir de una secuencia de niveles (Edificio, Bloque, Zona, Superficie, Abertura), estructurados jerárquicamente como se muestra en la **Figura 4.7**. En el nivel "Bloque" se trabaja como si de la planta de un edificio se tratara; en el nivel "Zona", se definen las zonas térmicas de esa planta; en el nivel Superficie, se definen las condiciones de contorno de las particiones interiores (adyacencias entre superficies vecinas); y en el nivel "Abertura" se introducen, en caso de que sea necesario, los huecos de cada una de las superficies.

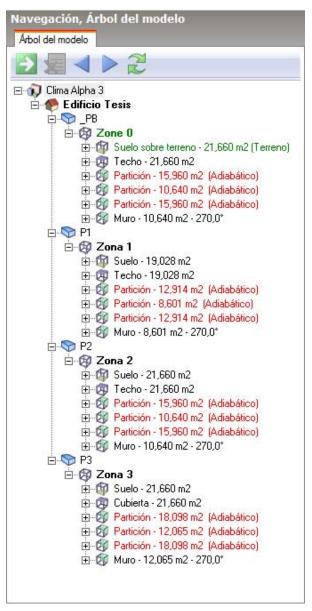


Fig. 4.7 - Árbol de jerarquía del modelo.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

La información establecida en cada nivel es heredada por los niveles inferiores, por lo que los bloques heredan información del nivel Edificio, las zonas lo hacen del nivel Bloque, las superficies del nivel Zona y las aberturas del nivel Superficie. En nuestro caso, en el nivel "Superficie", hemos definido las particiones interiores verticales de todas las Zonas como "Adiabática", y las condiciones de contorno de las particiones interiores horizontales y Muros de fachada del edificio, lo hemos definido como "Automática", para que sea DesignBuilder quien las defina de forma automática.

Una vez finalizada la modelización del edificio, se pasa a la pestaña "Cerramientos", para comenzar a caracterizar la envolvente térmica de cada una de las Zonas.

4.3.2.- Perfiles de uso:

En DesignBuilder, los perfiles de uso se definen en la pestaña "Actividad"

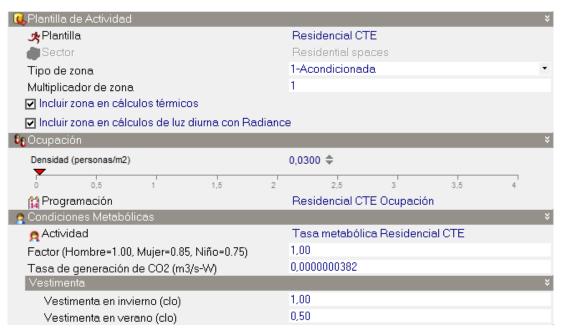


Fig. 4.8 - Densidad de ocupación y tasa metabólica considerada para las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

La densidad de ocupación se establece en 0,03 personas/m² de superficie útil, que se corresponde con los 2,15 W/m² establecidos en el DB HE1 del CTE.

También se establece la tasa metabólica (asociada a la intensidad de la actividad), el factor metabólico y los niveles de vestimenta en verano e invierno.

Los valores de tasa metabólica proporcionados por DesignBuilder se derivan de la tabla 5 del Capítulo 8 del ASHRAE Handbook of Fundamentals, y se corresponde a hombres adultos con una superficie promedio de piel de 1,80 m². El Factor metabólico permite considerar personas con diferente constitución física. Factor 1,00 para hombres, 0,85 para mujeres y 0,75 para niños. Pudiéndose ingresar valores intermedios si trata de grupos mixtos.

Debido a que la ocupación de los recintos habitables varía según los días de la semana, y según la hora del día, se hace necesario programar estas variables para que puedan ser consideradas en los cálculos. La programación se realiza a partir de una plantilla pre-configurada en DesignBuilder, que asume las condiciones establecidas en el Apéndice C del DB o HE 1 del CTE de 2013, para todas las horas del año.

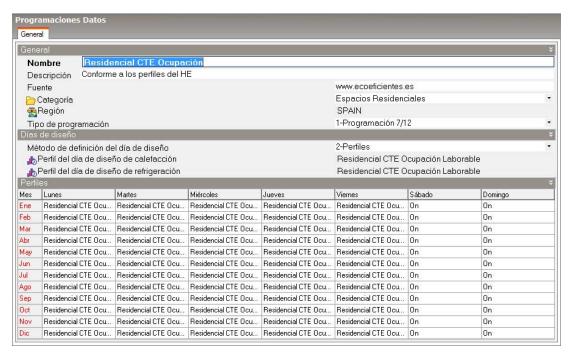


Fig. 4.9 - Programación anual de la ocupación, según perfiles de uso del DB HE 1 del CTE 2013.
Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

Las cargas térmicas debidas a la iluminación y equipos, se establece en 4,40 W/m² de superficie útil, que se corresponde con los valores establecidos en el DB HE1 del CTE.

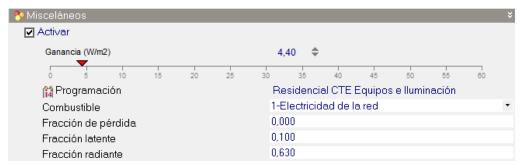


Fig. 4.10 - Perfil de uso debido a lluminación y Equipos consideradas para las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

Al igual que ocurre con la ocupación, las solicitaciones internas debidas a iluminación y equipos, varía según la hora del día. Por ello, se hace necesario programar estas variables para que puedan ser consideradas en los cálculos. La programación se realiza a partir de una plantilla pre-configurada en DesignBuilder, que asume las condiciones establecidas en el Apéndice C del DB o HE 1 del CTE de 2013, para todas las horas del año.

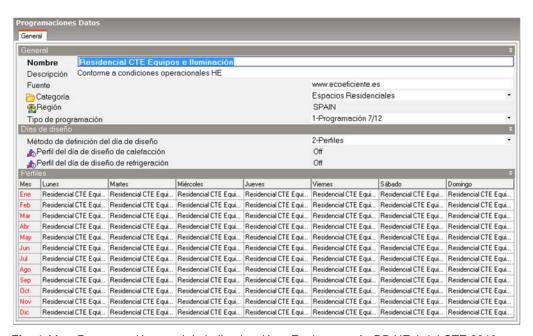


Fig. 4.11 - Programación anual de la lluminación y Equipos según DB HE 1 del CTE 2013. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

El control de la ventilación natural depende de las opciones del modelo seleccionadas y de los parámetros definidos en las pestañas de datos de HVAC y Aberturas.

En el presente trabajo de investigación se ha establecido la temperatura de consigna interior mínima en 23 °C. Durante los cálculos, si la temperatura del aire interior es mayor que la temperatura de consigna fijada, se activa la ventilación natural según las condiciones fijadas en la pestaña "HVAC".



Fig. 4.12 -Temperatura de consigna interior mínima para la ventilación natural de las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

4.3.3.- Cerramientos:

A.- Muros exteriores. Fachadas:

• Transmitancia térmica:

La solución constructiva del cerramiento de fachada básico, se ha definido a partir del valor de la transmitancia térmica máxima establecida en la tabla 2.3 del DB HE 1 del CTE, para la zona climática Alfa.

Inicialmente, se ha establecido para todos los cerramientos del edificio, una estanqueidad al aire de 1 renov/hora, aunque posteriormente, en EnergyPlus, esta variable será parametrizada.

En la planta baja, Zona 0 (recinto no habitable), se ha definido el siguiente cerramiento, con una transmitancia térmica, U= 1,64 W/m²·K y una absortividad de su superficie exterior de 0,90:

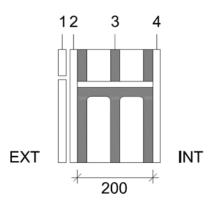


Fig. 4.13 - Esquema del cerramiento de Fachada de la Zona 0. Fuente: Elaboración propia.

Nº	Material		λ	ρ	Cp	R
IN.	Material	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K	m²·K/W
	Resistencia Térmica Superficial Ext., Rse	-	-	-	-	0,04
1	Chapado con placas de piedra natural	0,003	0,86	1.800	1.000	0,00
2	Mortero cemento - 1800 < d < 2000	0,015	1,30	1.900	1.000	0,01
3	Bloque hueco hormigón de Picón de 20 cm	0,200	0,50	1.000	800	0,40
4	Yeso proyectado acabado con enlucido	0,015	0,57	1.150	1.000	0,03
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi	-	-	-	-	0,13

 $R_T = 0,61$ $U_M = 1,64$

Tabla 4.1 - Composición por capas del cerramiento de Fachada de la Zona 0. Fuente: Elaboración propia.

En el resto de plantas, Zonas 1, 2 y 3 (recintos habitables), se ha definido el cerramiento de la Figura 4.9, con una transmitancia térmica, U= 1,35 W/m²·K y una absortividad de su superficie exterior de 0,90.

En aquellos casos en que, por los resultados de los cálculos, fuese necesario aumentar el valor de la transmitancia térmica de los cerramientos de fachadas, se han previsto dos escenarios complementarios. En el primero

de ellos, y mediante el aumento del espesor de la capa de aislamiento térmico, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 0,94 W/m²·K, coincidente con el que se propone, para la zona climática Alfa3, en la tabla D.2.3 del Apéndice D del DB HE 1 del CTE de 2013. En el segundo de ellos, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 1,15 W/m²·K. Este último valor se ha fijado por ser un valor de transmitancia térmica intermedio entre 1,35 W/m²·K y 0,94 W/m²·K.

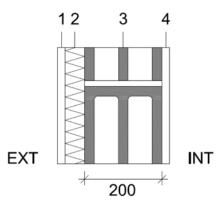


Fig. 4.14 - Esquema del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Nº	Material	е	λ	ρ	Cp	R
IN.	iviaterial	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K	m²·K/W
	Resistencia Térmica Superficial Ext., Rse	-	-	1	-	0,04
1	Mortero monocapa	0,015	0,60	1.300	1000	0,03
2	Aislante térmico	0,005	0,04	20	1000	0,11
3	Bloque hueco hormigón de Picón de 20 cm	0,200	0,50	1.000	800	0,40
4	Yeso proyectado acabado con enlucido	0,015	0,57	1.150	1000	0,03
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi	_	-	-	-	0,13

 $R_T = 0,74$ $U_M = 1,35$

Tabla 4.2 - Composición por capas del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Condensaciones:

DesignBuilder realiza un análisis de condensaciones y genera un informe sobre las condensaciones intersticiales y superficiales, con base al estándar ISO 13788. Los cálculos se realizan para todos los meses del año, pero mediante una lista desplegable, se puede seleccionar el mes para el que se genera el diagrama de Glaser, incluyendo la opción para el mes del peor caso.

Para el cálculo de condensación superficial se puede seleccionar, mediante una lista desplegable, la fuente de ambiente. Si elige la opción "Conservación de ambiente interior", se debe definir la Temperatura del aire interior fija, la Humedad relativa interior fija y la Clase de Humedad. Si elige la opción "Conservación de la temperatura del aire interior", sólo se debe definir, adicionalmente, la Temperatura del aire interior fija. Si elige la opción "Datos de límite" no es necesario definir parámetros adicionales.

Reporte de Análisis de Condensación

Condensación Superficial

Calidad térmica buena. Crecimiento de moho poco probable.

Resultados Detallados: Condensación Superficial

Mes	T _{Ext}	HR _{Ext}	T _{Int}	HR _{Int}	Factor de T _{min}	T _{si,mín}	T _{si}
	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(°C)
Ene	3,0	85	20,0	50	0,652	14,1	17,0
Feb	3,0	82	20,0	50	0,652	14,1	17,0
Mar	5,0	79	20,0	50	0,606	14,1	17,4
Abr	8,0	75	20,0	50	0,507	14,1	17,9
May	11,0	73	20,0	50	0,343	14,1	18,4
Jun	14,0	75	20,0	50	0,014	14,1	18,9
Jul	15,0	75	20,0	50	-0,183	14,1	19,1
Ago	15,0	77	20,0	50	-0,183	14,1	19,1
Sep	13,0	80	20,0	50	0,155	14,1	18,8
Oct	10,0	83	20,0	50	0,409	14,1	18,2
Nov	6,0	85	20,0	50	0,578	14,1	17,5
Dic	4,0	86	20,0	50	0,630	14,1	17,2

Fig. 4.15 - Informe de condensaciones superficiales.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

Una vez que se ha configurado el cerramiento exterior, mediante la definición de cada una de las capas que lo componen, DesignBuilder realiza el análisis de condensaciones. El informe de resultados de condensaciones del cerramiento de fachadas, comprueba que no se producen condensaciones, ni superficiales ni intersticiales.

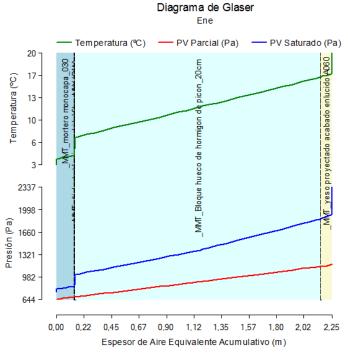


Fig. 4.16 - Diagrama de Glaser, del mes del peor caso (Enero), del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

B.- Cubierta:

• Transmitancia térmica:

La solución constructiva del cerramiento de cubierta básico, se ha definido a partir del valor de la transmitancia térmica máxima establecida en la tabla 2.3 del DB HE 1 del CTE, para la zona climática Alfa.

En la Zona 3 (recinto habitable), se ha definido el cerramiento de la Figura 4.12, con una transmitancia térmica, U= 1,20 W/m²·K y una absortividad de su superficie exterior de 0,90.

En aquellos casos en que, por los resultados de los cálculos, fuese necesario aumentar el valor de la transmitancia térmica de los cerramientos de fachadas, se han previsto dos escenarios complementarios. En el primero de ellos, y mediante el aumento del espesor de la capa de aislamiento térmico, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 0,50 W/m²·K, coincidente con el que se propone, para la zona climática Alfa3, en la tabla D.2.3 del Apéndice D del DB HE 1 del CTE de 2013. En el segundo de ellos, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 0,85 W/m²·K. Este último valor se ha fijado por ser un valor de transmitancia térmica intermedio entre 1,20 W/m²·K y 0,50 W/m²·K.

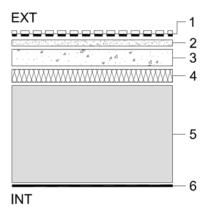


Fig. 4.17 - Esquema del cerramiento de Cubierta de la Zona 3.

Fuente: Elaboración propia.

Nº	Material	е	λ	ρ	Cp	R
IN.	iviateriai	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K	m²·K/W
	Resistencia Térmica Superficial Ext., Rse	-	-	-	-	0,04
1	Bituminosos Betún fieltro o lámina	0,010	0,23	1.100	1.000	0,04
2	Mortero cemento - 1800 < d < 2000	0,020	1,30	1.900	1.000	0,02
3	Hormigón con áridos ligeros d = 1600	0,030	0,59	1.600	1.000	0,05
4	Aislante térmico	0,009	0,04	20	1000	0,21
5	Forjado unid. Bovedillas de hgón de picón	0,300	0,88	1.273	800	0,34
6	Yeso proyectado acabado con enlucido	0,015	0,57	1.150	1.000	0,03
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi	-	-	-	-	0,10

 $R_T = 0.83$ $U_M = 1.20$

Tabla 4.3 - Composición por capas del cerramiento de Cubierta.

Fuente: Elaboración propia.

En aquellos casos en que, por los resultados de los cálculos, fuese necesario aumentar el valor de la transmitancia térmica de los cerramientos de fachadas, se han previsto dos escenarios complementarios. En el primero de ellos, y mediante el aumento del espesor de la capa de aislamiento térmico, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 0,50 W/m²·K, coincidente con el que se propone, para la zona climática Alfa3, en la tabla D.2.3 del Apéndice D del DB HE 1 del CTE de 2013. En el segundo de ellos, se fija un valor de transmitancia térmica límite de 0,85 W/m²·K. Este último valor se ha fijado por ser un valor de transmitancia térmica intermedio entre 1,20 W/m²·K y 0,50 W/m²·K.

Condensaciones:

Una vez que se ha configurado el cerramiento exterior, mediante la definición de cada una de las capas que lo componen, DesignBuilder realiza el análisis de condensaciones. El informe de resultados de condensaciones del cerramiento de cubierta, comprueba que, en los meses comprendidos entre noviembre y marzo, ambos inclusive, se producen condensaciones intersticiales en dos interfaces del cerramiento, la primera de ellas se localiza a 10 mm de la cara exterior de la cubierta, mientras que la segunda se localiza a una distancia de 30 mm. Las dos interfaces señaladas, se corresponden con la capa de mortero de regularización de la formación de pendiente, por lo que no se prevé una merma significativa ni en las prestaciones térmicas ni en la vida útil de los elementos que componen la envolvente térmica de cubierta. Además, en el resto de los meses del año, el agua condensada se evapora, por lo que el cerramiento de cubierta diseñado cumple con las exigencias establecidas en el DB HE 1 del CTE de 2013.

El Informe verifica que, en el cerramiento de cubierta, no se producen condensaciones superficiales.

Reporte de Análisis de Condensación

Condensación Superficial

Calidad térmica buena. Crecimiento de moho poco probable.

Resultados Detallados: Condensación Superficial

Mes	T _{Ext}	HR _{Ext}	T _{Int}	HR _{Int}	Factor de T _{min}	T _{si,mín}	T _{si}
	(°C)	(%)	(°C)	(%)	(°C)	(°C)	(°C)
Ene	3,0	85	20,0	50	0,652	14,1	17,4
Feb	3,0	82	20,0	50	0,652	14,1	17,4
Mar	5,0	79	20,0	50	0,606	14,1	17,7
Abr	8,0	75	20,0	50	0,507	14,1	18,1
May	11,0	73	20,0	50	0,343	14,1	18,6
Jun	14,0	75	20,0	50	0,014	14,1	19,1
Jul	15,0	75	20,0	50	-0,183	14,1	19,2
Ago	15,0	77	20,0	50	-0,183	14,1	19,2
Sep	13,0	80	20,0	50	0,155	14,1	18,9
Oct	10,0	83	20,0	50	0,409	14,1	18,4
Nov	6,0	85	20,0	50	0,578	14,1	17,8
Dic	4,0	86	20,0	50	0,630	14,1	17,5

Fig. 4.18 - Informe de condensaciones superficiales del cerramiento de Cubierta.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

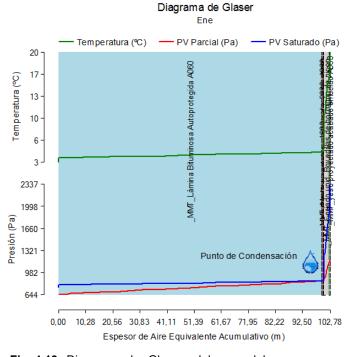


Fig. 4.19 - Diagrama de Glaser, del mes del peor caso (Enero), del cerramiento de Cubierta.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

C.- Suelo en contacto con el terreno:

En la Zona 0 (recinto no habitable), se ha definido el siguiente cerramiento de suelo en contacto con el terreno, con una transmitancia térmica, U= 3,92 W/m²·K:

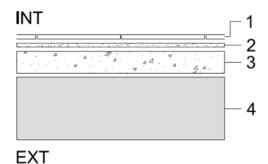


Fig. 4.20 - Esquema del cerramiento de Suelo en contacto con el Terreno de la Zona 0.

Fuente: Elaboración propia.

NI	N° Material		λ	ρ	Cp	R
IN	Material	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K	m²·K/W
	Resistencia Térmica Superficial Ext., Rse	-	-	-	-	0,04
1	Solado de baldosas cerámicas de gres	0,0100	2,300	2.500	1.000	0,00
2	Base de mortero autonivelante de cemento	0,0400	1,300	1.900	1.000	0,03
3	Solera de hormigón en masa	0,1000	2,000	2.500	1.000	0,05
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi	-	-	-	1	0,13

 $R_T = 0,26$ $U_M = 3,92$

Tabla 4.4 - Composición por capas del cerramiento de Suelo en contacto con el terreno. Fuente: Elaboración propia.

Para este cerramiento, no se ha considerado el cumplimiento de la transmitancia térmica, conforme a lo estipulado en el DB HE 1, dado que, a los efectos de la investigación, se considera un local no habitado, sin uso específico.

D.- Particiones interiores horizontales:

La solución constructiva de la partición interior, se ha definido a partir de los valores de transmitancias térmicas límites establecidas en las tablas 2.4 y 2.5 del DB HE 1 del CTE, para la zona climática Alfa.

En las Zonas 1, 2 y 3 del edificio, se ha definido la siguiente partición interior, con una transmitancia térmica, U= 0,67 W/m²·K:

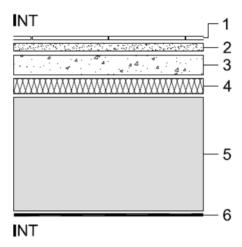


Fig. 4.21 - Esquema de la Partición Interior Horizontal, piso de las Zonas 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

Nº	Material	е	λ	ρ	Сp	R
IN "	Material	(m)	W/m·K	(kg /m³)	J/Kg·K	m²·K/W
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi		-	ı	-	0,17
1	Solado de baldosas cerámicas de gres	0,01	2,30	2.500	1.000	0,00
2	Mortero de arena y cemento		1,30	1.900	1.000	0,00
3	Base de mortero autonivelante de cemento		1,30	1.900	1.000	0,03
4	Lana mineral MW (GW)	0,03	0,04	40	1.000	0,75
5	Forjado unid. Bovedillas de hgón de picón	0,30	0,88	1.273	800	0,34
6	Yeso proyectado acabado con enlucido		0,57	1.150	1.000	0,03
	Resistencia Térmica Superficial Int., Rsi		-	-	-	0,17

 $R_T = 1,50$ $U_M = 0,67$

Tabla 4.5 - Esquema y composición por capas de la partición interior horizontal. Fuente: Elaboración propia.

E.- Particiones interiores verticales:

Las particiones interiores verticales, que delimitan unidades del mismo uso, se han definido con bloque hueco de hormigón de picón, de 89 cm de espesor, revestido por ambas caras, con yeso proyectado acabado con enlucido, de un espesor de 15 mm.

A los efectos de cálculo, estas particiones se consideran adiabáticas.

4.3.4.- Huecos:

A.- Transmitancia térmica:

La solución constructiva del hueco básico, se ha definido a partir del valor de la transmitancia térmica máxima, considerando el comportamiento conjunto de vidrio y marco, establecida en la tabla 2.3 del Documento Básico HE 1 del CTE, para la zona climática Alfa, costas de las islas Canarias.

En las Zonas 1, 2 y 3 (recintos habitables), se ha definido el siguiente hueco, con una transmitancia térmica, U= 5,70 W/m²·K:

Tino	Ancho	Alto	Sup.	н/м		Marco		
Tipo	(m)	(m)	(m)	(%)	Tipo	α	U _{H,M}	FM
H.1.0.0	1,01	2,00	2,02	20%	Alum. SRPT	0,60	5,70	14%
H.2.0.0	2,02	2,00	4,03	40%	Alum. SRPT	0,60	5,70	10%
H.3.0.0	3,02	2,00	6,05	60%	Alum. SRPT	0,60	5,70	8%
H.4.0.0	3,29	2,45	8,06	80%	Alum. SRPT	0,60	5,70	7%

Tino		III.	E.			
Tipo	Tipo	U _{H,V}	g	1-FM	Uн	Fн
H.1.0.0	Simple 6 mm	5,70	0,83	86%	5,70	0,74
H.2.0.0	Simple 6 mm	5,70	0,83	90%	5,70	0,77
H.3.0.0	Doble 4-10-4	3,00	0,78	92%	3,22	0,73
H.4.0.0	Doble 4-10-4	3,00	0,78	93%	3,19	0,74

Tabla 4.6 - Composición de los huecos de fachada de las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Donde:

α = Absortividad del marco

Uн,м = Transmitancia térmica del marco

U_{H,V} = Transmitancia térmica del vidrio

U_H = Transmitancia térmica del Hueco

FM = Fracción del hueco ocupada por el marco

g = Factor solar del vidrio a incidencia normal

F_H = Factor solar límite del hueco, sin contar el factor de sombra del dispositivo móvil.

La carpintería se ha definido con marco perimetral en aluminio sin rotura de puente térmico (SRPT), sin divisiones interiores. Tiene una altura de 2,00 m y el ancho se establece de forma automática al fijarse el porcentaje de relación hueco/muro que, en la configuración básica, se ha establecido en el 20%, 40%, 60% y 80%.

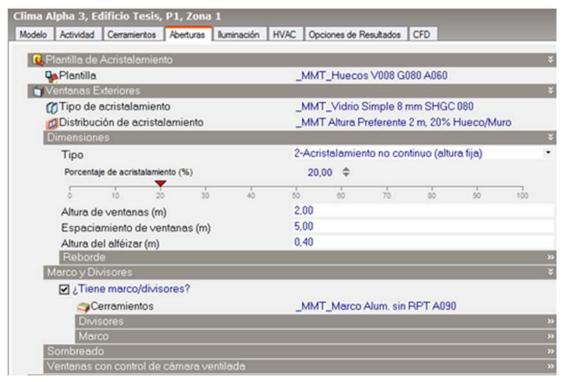


Fig. 4.22 - Configuración del hueco en DesignBuilder

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

La carpintería se ha situado a haces exteriores del cerramiento de fachada, para evitar el factor de sombra por retranqueo.

B.- Factor de sombra:

El hueco se dota de un dispositivo móvil exterior de sombra, que puede ser operado por los usuarios según las exigencias de bienestar que requieran en cada momento. El dispositivo de sombra móvil se ha simulado como una pantalla fija paralela al vidrio (tipo "persianas de oscurecimiento"), separada de él 50 mm. Parametrizando las propiedades de Transmisión luminosa, Transmisión directa de energía solar y Transmitancia infrarroja, se consigue modificar el porcentaje de cobertura del dispositivo. Por ejemplo, asignando el valor 0,3 a las variables anteriormente mencionadas, la pantalla se asemeja a un dispositivo de sombra que cubre el 30% de la superficie del hueco, es decir, el hueco tiene un Factor de sombra (F_s) de 0,70.

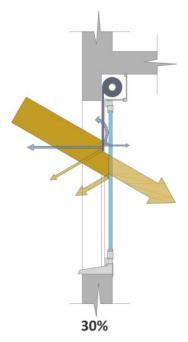


Fig. 4.23 - Esquema de dispositivo de sombra móvil desplegado un 30%

Fuente: Elaboración propia.

Las características del dispositivo de sombra adoptado inicialmente es la siguiente:

Dispositivo móvil de sombra								
Factor de Transmisión luminosa	TL	0,3						
Factor de Reflexión luminosa exterior	RLe	10%						
Factor de Transmisión directa energía solar	TE	0,3						
Factor de Reflexión exterior directa energía solar	REe	10%						
Emisividad hemisférica infrarroja	٤r	0,15						
Transmitancia infrarroja	Tr	0,3						
Espesor	е	0,02 m						
Conductividad térmica	λ	0,1 W/m·K						
Distancia de separación al vidrio	d	0,05 m						

Tabla 4.7 - Composición de los huecos de fachada de las Zonas 1, 2 y 3. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, en EnergyPlus, esta variable será parametrizada.

4.3.5.- Sistema de Ventilación:

A.- Ventilación mecánica. La calidad del aire interior:

En la pestaña HVAC es posible simular un amplio rango de sistemas de calefacción, refrigeración y ventilación, así como modelar con gran detalle cada uno de sus componentes.

La ventilación mecánica se ha modelado mediante el objeto "ZoneVentilation: DesignFlowRate" de EnergyPlus, que simula un sistema de ventilación independiente al sistema principal de HVAC. Con esta opción el consumo de energía y los aportes de calor de los ventiladores se incluyen en los balances térmicos de la zona. Sin embargo no es posible modelar enfriamiento gratuito (economizador), recuperación de calor ni control de humedad.

Se ha establecido una caudal de aire exterior de 0,63 renovaciones/hora, con un funcionamiento programado según las exigencias establecidas en el perfil de uso normalizado que figura en el Apéndice C del DB HE 1 del CTE 2013.



Fig. 4.24 - Configuración de la ventilación mecánica y natural en DesignBuilder Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

En esta configuración básica se ha programado la ventilación mecánica con un caudal de 0,63 renov/hora, durante los meses de verano (1 de junio al 30 de octubre), en el horario comprendido entre las 8:00 y las 24 horas. El resto de los meses del año, la ventilación mecánica mantiene ese mismo caudal durante las 24 horas del día.

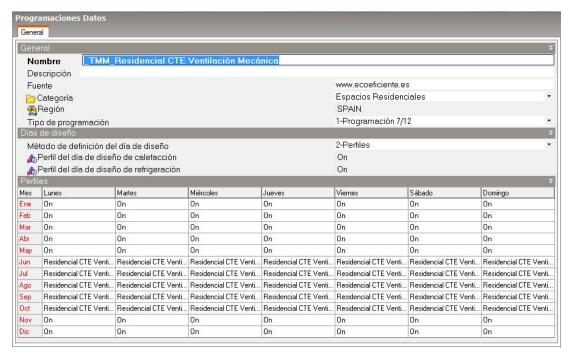


Fig. 4.25 - Programación anual de la ventilación mecánica según DB HE 1 del CTE 2013.
 Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

B.- Ventilación natural nocturna. Enfriamiento pasivo:

En las noches de verano, en horario comprendido entre las 0:00 y las 8:00 de la mañana, se programa la ventilación natural como recurso de enfriamiento pasivo, como estrategia única.

Se ha establecido una caudal de aire exterior de 4,00 renovaciones/hora, con un funcionamiento programado según las exigencias establecidas en el perfil de uso normalizado que figura en el Apéndice C del DB HE 1 del CTE 2013.

En esta configuración básica se ha programado a ventilación natural nocturna con un caudal de 4,0 renov/hora, durante los meses de verano (1 de junio al 30 de octubre), en el horario comprendido entre las 0:00 y las 8:00 de la mañana. El resto de los meses del año, no existe ventilación natural nocturna.

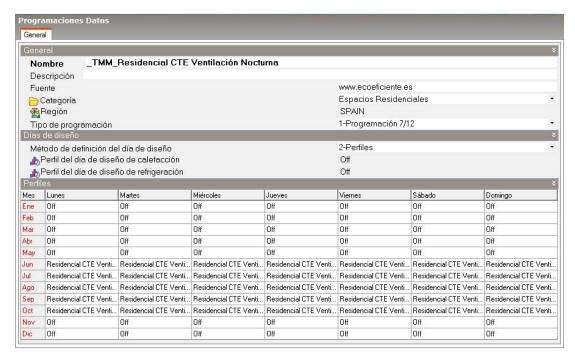


Fig. 4.26 - Programación anual de la ventilación natural nocturna según DB HE 1 del CTE 2013. Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

4.3.6.- Exportación a EnergyPlus:

Una vez finalizado el proceso de configuración y calibración del fichero Patrón en DesignBuilder, se procede a su exportación a EnergyPlus para realizar pequeños ajustes en los sistemas de ventilación, y definir las variables paramétricas para, posteriormente, realizar las simulaciones programadas.

En primer lugar, y a partir del fichero Patrón: "Fase 1 – DB.000.020.dsb", generamos el resto de ficheros patrones correspondientes a cada uno de los tres porcentajes de relación Hueco/Muro, simplemente variando, en la pestaña "Aberturas" de DesignBuilder, el porcentaje de acristalamiento.

En segundo lugar, procedemos a exportar a EnergyPlus cada uno de los cuatros ficheros Patrón creados: "Fase 1 – DB.000.020.dsb", "Fase 1 – DB.000.040.dsb", "Fase 1 – DB.000.060.dsb" y "Fase 1 – DB.000.080.dsb", obteniendo los ficheros: "Fase 1 – EP.000.020.idf", "Fase 1 – EP.000.040.idf", "Fase 1 – EP.000.060.idf" y "Fase 1 – EP.000.080.idf".

Dimensiones								*
Tipo		2-Ac	ristalami	ento no	continuo	(altura f	ija)	•
Porcentaje de acristalamiento (%)	40,00 💠							
0 10 20 30	40	50	60	70	80	90	100	
Altura de ventanas (m)		2,00						
Espaciamiento de ventanas (m)		5,00						
Altura del alféizar (m)	0,40							
Reborde								>>

Fig. 4.27 - Variación del porcentaje de acristalamiento al 40%.

Fuente: Elaboración propia con el software DesignBuilder.

Con posterioridad se abrirán, con la aplicación EP-Launch de EnergyPlus, cada uno de los cuatro ficheros IDF exportados, y se procederá a realizar las modificaciones necesarias antes de iniciar los cálculos de las simulaciones paramétricas.

4.4.- SIMULACIÓN PARAMÉTRICA EN ENERGYPLUS

4.4.1.- Calibración de la ventilación:

El primer paso en EnergyPlus consistirá en calibrar los sistemas de ventilación exportados, ya que este trabajo de investigación debe asumir que, en la práctica, para cada una de las zonas térmicas existe un único sistema de ventilación mecánica con velocidad variable y con reguladores de caudal de aire. Una de las formas de simular este sistema en EnergyPlus, consiste en crear dos tipos de ventilación mecánica que sean complementarios entre sí, a saber:

• Una ventilación mecánica para garantizar la calidad del aire interior. Esta ventilación ha sido programa en DesignBuilder, con un caudal de 0,63 renov/hora, según los Perfiles de uso establecidos en el Apéndice C del DB HE 1 del CTE 2013, lo que significa que, en entre las 0:00 y las 8:00 horas de las noches de verano esta ventilación mecánica está inoperativa.

En EnergyPlus modificamos este parámetro para establecer una ventilación mecánica para la calidad del aire interior, constante durante todas las horas del año, con un caudal de 0,63 renov/hora.

• Una ventilación mecánica de confort, como sistema de refrigeración activo. Esta ventilación se programa directamente en EnergyPlus, y se establece como complementaria a la ventilación mecánica para la calidad del aire interior. Por ello se le asignan tres caudales de aire diferentes: 1,37 renov/hora, 2,37 renov/hora y 3,37 renov/hora, que durante los procesos de cálculo serán sumados al caudal contante de 0,63 renov/horas, obteniéndose caudales de aire, según las necesidades de demanda de confort, de 2 renov/h, 3 renov/h y 4 renov/h.

Además de ello, en la programación paramétrica, a esta ventilación mecánica se le asigna unas velocidades de aire de 0,30 m/s, 0,60 m/s, 90 m/s y 1,20 m/s.

Ambas ventilaciones mecánicas se han configurado para que el cálculo se realice por tasa de ventilación (AirChanges/hour), con una presión del ventilador de 150 Pa. La ventilación se activará siempre que la temperatura interior esté por encima de los 23 °C, la diferencia de temperatura, entre el ambiente interior y el exterior, sea al menos de 3 °C, y que la temperatura exterior nunca esté por debajo de los 20 °C. Con estas condiciones se asegura la refrigeración activa sin riesgo de exceso de enfriamiento.

El sistema de ventilación mecánica con velocidad variable y reguladores de caudal de aire, debe diseñarse de tal forma que permita establecer un caudal mínimo de 0,63 renov/hora y máximo de 4,00 renov/hora, combinando, cada uno de estos caudales, con las cuatro posibles velocidades de aire mencionadas anteriormente. La configuración mínima de este sistema, se correspondería con un caudal de 0,63 renov/hora y una velocidad de 0,30 m/s, que satisface los requisitos establecidos en el DB HS 3 del CTE 2013. El resto de configuraciones corresponderían a la ventilación mecánica de confort.

Field	Units	ОБј2	ОЫЗ	ОБј4
Name		Zona 1 Nat Vent	Zona 1 MechVent_CTE	Zona 1 VM_Confort_EXT
Zone or ZoneList Name		Zona 1	Zona 1	Zona 1
Schedule Name		VentNocturnaVeran	VentMecanicaCTE_DB	VentMecanicaConfort
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr	3,37	0,63	=\$VM_Caudal_IMP
Ventilation Type		NATURAL	Exhaust	Exhaust
Fan Pressure Rise	Pa	1	150	150
Fan Total Efficiency		1	0,7	0,7
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient		0	0	0
Velocity Term Coefficient		0	0	0
Velocity Squared Term Coefficient		0	0	0
Minimum Indoor Temperature	С	23		23
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	С	100		100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				
Delta Temperature	deltaC	3		3
Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	С	20		20
Minimum Outdoor Temperature Schedule Nami				
Maximum Outdoor Temperature	С	100		100
Maximum Outdoor Temperature Schedule Nam				
Maximum Wind Speed	m/s	40		

Fig. 4.28 - Configuración de las ventilaciones natural nocturna, mecánica para calidad del aire interior y mecánica de confort.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Además de estas ventilaciones mecánicas, en EnergyPlus se sigue manteniendo la **ventilación natural nocturna** programa en DesignBuilder, pero en EnergyPlus se procederá a modificar el caudal de aire de admisión, ya que se pretende que sea complementario al de la ventilación mecánica para la calidad del aire interior. Por ello, se establece un caudal de 2,37 renov/hora, que sumados las 0,63 renov/hora de la ventilación mecánica, nos da un total de 4,00 renov/hora.

La ventilación natural nocturna se ha configurado para que el cálculo se realice por tasa de ventilación (AirChanges/hour), y se activará siempre que la temperatura interior este por encima de los 23 °C, la diferencia de temperatura entre el ambiente interior y el exterior sea al menos de 3 °C, y que la temperatura exterior nunca esté por debajo de los 20 °C. Con estas condiciones se asegura la refrigeración pasiva sin riesgo de exceso de enfriamiento.

Field	Units	ОЫ5	ОЫ6	ОБј7
Name		VentNocturnaVerano	VentMecanicaCTE_	VentMecanicaConfort
Schedule Type Limits Name		Fraccion	Fraccion	Fraccion
Field 1	varies	Through:5/31	Through:12/31	Through:12/31
Field 2	varies	For: AllDays	For: AllDays	For: AllDays
Field 3	varies	Until: 24:00	Until:24:00	Until: 08:00
Field 4	varies	0	1	0
Field 5	varies	Through:10/31		Until: 24:00
Field 6	varies	For: AllDays		1
Field 7	varies	Until: 08:00		
Field 8	varies	1		
Field 9	varies	Until: 24:00		
Field 10	varies	0		
Field 11	varies	Through: 12/31		
Field 12	varies	For: AllDays		
Field 13	varies	Until: 24:00		
Field 14	varies	0		

Fig. 4.29 - Programación de las ventilaciones natural nocturna, mecánica para calidad del aire interior y mecánica de confort.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Además, para evitar exceso de corrientes de aire, se han programado las ventanas para que no se abran si la velocidad del aire exterior supera los 40 m/s.

4.4.2.- Configuración paramétrica:

Un cálculo paramétrico permite evaluar, de forma simultánea, la combinación de diversas variables de diseño, evitando el tedioso trabajo de tener que crear "n" modelos a partir de copias simultaneas de un fichero patrón, e ir modificando manualmente, en cada uno de ellos, una sola de sus variables.

A continuación se exponen las características del modelo del fichero Patrón:

Variable	Característica				
Tipo de Edificio	Plurifamiliar vivienda				
Dimensiones de cada Zona térmica	3,60 x 5,50 x 2,80 m				
Superficie de cada Zona térmica			19,80 m ²		
Volumen de cada Zona térmica			55,44 m ³		
Transmitancia límite muro de facha	ada (U _{Mlim})		1,35 W/m ² ·K		
Transmitancia límite cubierta (U _{Clim})		1,20 W/m ² ·K		
Transmitancia límite suelo contacto	terreno (U _{Stlim})		3,92 W/m ² ·K		
Transmitancia límite particiones int	. Horiz. (U _{PHlim})		0,67 W/m ² ·K		
Transmitancia límite particiones int	. Vert. (U _{PVlim})		1,88 W/m ² ·K (adiabática)		
Transmitancia límite de Huecos ((L	J _{Hlim})		5,70 W/m ² ·K		
Porcentaje de relación Hueco/Muro)		20%, 40%, 60%, 80%		
		20%	0,74		
Factor solar modificado límite del h	iueco (F _{Hlim})	40%	0,77		
(Sin contar factor de sombra dispos	sitivo móvil)	60%	0,73		
		80%	0,74		
Ganancias Internas por ocupación			Según perfil de uso		
Ganancias internas por iluminación	n y equipos		Según perfil de uso		
Ratio de ocupación			Según perfil de uso		
			Mecánica calidad aire		
Sistema de ventilación			Mecánica confort		
			Natural noches verano		
Caudal ventilación mecánica calida	ad aire interior		0,63 renov/hora		
Caudal ventilación mecánica de co	nfort		Variable paramétrica		
Caudal ventilación natural nocturna	a meses de verai	10	3,37 renov/hora		
Caudal de infiltraciones			Variable paramétrica		
			ΘAire,Int. > 23 °C		
Puesta en marcha sistemas de ver	ntilación		ΘAire,Ext. > 20 °C		
			Velocidad Aire,Ext. < 40 m/s		
Temperatura mínima durante la oc	upación		20 °C		
Nivel de actividad			1 met		
Aislamiento por vestimenta			1 clo invierno; 0,5 clo verano		
	Disposición		Por el exterior del hueco		
			En todas las orientaciones		
Protección solar móvil	Activación		Cualquier hora del año		
			Si I _{Total} en vidrio > 100 W/m ²		
	Factor de somb	ora	Variable paramétrica		

Tabla 4.8 - Características del modelo del fichero Patrón.

Para comenzar a crear las distintas variables paramétricas, es necesario abrir la aplicación "IDF Editor" de EnergyPlus, y acceder a la clase (grupo)

"Parametrics" y, dentro de ella, acceder al objeto paramétrico base "Parametric: Set Values For Run", que es donde se define el nombre de un parámetro y se establecen los diferentes valores de ese mismo parámetro.

A partir de aquí se procede a introducir las distintas variables paramétricas, comenzando por crear un nuevo Objeto, respetando las siguientes condiciones:

- El nombre del parámetro debe comenzar siempre con el carácter de signo dólar (\$).
- El segundo carácter siempre debe ser una letra.
- En el resto de caracteres se pueden emplear letras o números indistintamente.
- No se permite que el nombre contenga espacios vacíos.

Siguiendo estas instrucciones, se crea la primera variable paramétrica accediendo al campo "Nombre", he introduciendo en él la denominación: "\$PersianaBajada". Esta variable caracteriza los distintos valores que adoptará el Factor de sombra del dispositivo móvil.

En los campos "Value for Run" se introducen los valores que, en cada caso, adoptara la variable "\$PersianaBajada". En este caso se introducen los valores: 0.70, 0.50, 0.30 y 0.0001; se introduce este último valor, en lugar de 0, para evitar durante los procesos de cálculo, los errores derivados de las divisiones por cero.

Seguidamente se crea la variable paramétrica "\$VM_Caudal_IMP", esta variable caracteriza los distintos valores que adoptará el caudal de aire de la ventilación mecánica de confort. En los campos "Value for Run" se introducen los valores que, en cada caso, adoptara esta variable. En este caso se introducen los valores: 1.37, 2.37 y 3.37.

Por último se crea la variable paramétrica "\$Infiltra", esta variable caracteriza los distintos valores que adoptará el caudal de aire infiltrado a través de la

envolvente. En los campos "Value for Run" se introducen los valores que, en cada caso, adoptara esta variable. En este caso se introducen los valores: 0.2, 0.6 y 1.

Field	Units	ОБј1	ОБј2	ОЫЗ
Name		\$PersianaBajada	\$VM_Caudal_IMP	\$Infiltra
Value for Run 1		0.7	1.37	0.2
Value for Run 2		0.7	2.37	0.2
Value for Run 3		0.7	3.37	0.2
Value for Run 4		0.7	1.37	0.6
Value for Run 5		0.7	2.37	0.6
Value for Run 6		0.7	3.37	0.6
Value for Run 7		0.7	1.37	1
Value for Run 8		0.7	2.37	1
Value for Run 9		0.7	3.37	1
Value for Run 10		0.5	1.37	0.2
Value for Run 11		0.5	2.37	0.2
Value for Run 12		0.5	3.37	0.2
Value for Run 13		0.5	1.37	0.6
Value for Run 14		0.5	2.37	0.6
Value for Run 15		0.5	3.37	0.6
Value for Run 16		0.5	1.37	1
Value for Run 17		0.5	2.37	1
Value for Run 18		0.5	3.37	1
Value for Run 19		0.3	1.37	0.2
Value for Run 20		0.3	2.37	0.2
Value for Run 21		0.3	3.37	0.2
Value for Run 22		0.3	1.37	0.6

Fig. 4.30 - Vista parcial de la configuración de variables paramétricas en EnergyPlus.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Una vez cumplimentadas todas las variable paramétricas, se accede al objeto paramétrico base "Parametric: FileName Suffix", que es donde se definen los sufijos (número de orden) que se añaden al final de los nombres de los archivos IDF de salida, que se generan durante la ejecución paramétrica. En este caso, en los campos "Suffix For File Name in Run 1" introducimos el valor "001", y así sucesivamente hasta el campo "Suffix For File Name in Ruin 36", donde introducimos el valor "036", último valor de la serie paramétrica.

A continuación, se accede a la clase "Surface Construction Elements" y, dentro de ella, se accede al objeto base "WindowMaterial Shade", que es donde se especifican las propiedades del dispositivo de protección solar. Se

supone que la reflectancia y la emisividad son iguales en ambas caras del dispositivo protección solar, y este se considera un difusor perfecto, todo transmite e, independiente del ángulo de incidencia, la radiación reflejada es hemisférica difusa.

En los campos "Solar Transmitance", "Visible Transmitance" y "Infrared Transmitance" se introduce el nombre asignado a la variable paramétrica, precedido del signo igual ("="). En este caso se introduce: "=\$PersianaBajada". En cada proceso paramétrico, este campo será sustituido por el valor definido en el campo "Parametric: Set Values For Run".

Field	Units	Obj1
Name		Persiana Bajada
Solar Transmittance	dimensionless	=\$PersianaBajada
Solar Reflectance	dimensionless	0,1
Visible Transmittance	dimensionless	=\$PersianaBajada
Visible Reflectance	dimensionless	0,1
Infrared Hemispherical Emissivity	dimensionless	0,15
Infrared Transmittance	dimensionless	=\$PersianaBajada
Thickness	m	0,02
Conductivity	W/m-K	0,1
Shade to Glass Distance	m	0,05
Top Opening Multiplier		0
Bottom Opening Multiplier		0
Left-Side Opening Multiplier		0
Right-Side Opening Multiplier		0
Airflow Permeability	dimensionless	0,07

Fig. 4.31 - Configuración de la variable del dispositivo de control solar.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Similares procesos se repiten en la clase "Zone Airflow". Primeramente, en el objeto base "ZoneInfiltration: DesignFlowRate", en el que se introduce el valor "=\$Infiltra" en los campos de "Air Changes per Hour" de las Zonas 1, 2 y 3. Seguidamente, en el objeto base "ZoneVentilation: DesignFlowRate", en el que se introduce el valor "=\$VM_Caudal_IMP" en los campos de "Air Changes per Hour" de las Zonas 1, 2 y 3

Field	Units	ОЫ1	ОБј2	ОЫ3	ОБј4
Name		Infiltracion Zona 0	Infiltracion Zona 1	Infiltracion Zona 2	Infiltracion Zona 3
Zone or ZoneList Name		Zona 0	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Schedule Name		Infiltracion cte ACH	Infiltracion cte ACH	Infiltracion cte ACH	Infiltracion cte ACH
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s				
Flow per Zone Floor Area	m3/s-m2				
Flow per Exterior Surface Area	m3/s-m2				
Air Changes per Hour	1/hr	=1	=\$Infiltra	=\$Infiltra	=\$Infiltra
Constant Term Coefficient		1	1	1	1
Temperature Term Coefficient					
Velocity Term Coefficient					
Velocity Squared Term Coefficient					

Fig. 4.32 - Vista parcial de la configuración de la variable del caudal de aire de Infiltración.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Field	Units	ОБј4	ОБј7	ОЫ10
Name		Zona 1 VM_Confort	Zona 2 VM_Confort	Zona 3 VM_Confort
Zone or ZoneList Name		Zona 1	Zona 2	Zona 3
Schedule Name		VentMecanicaConfo	VentMecanicaConfo	VentMecanicaConfo
Design Flow Rate Calculation Method		AirChanges/Hour	AirChanges/Hour	AirChanges/Hour
Design Flow Rate	m3/s			
Flow Rate per Zone Floor Area	m3/s-m2			
Flow Rate per Person	m3/s-person			
Air Changes per Hour	1/hr	=\$VM_Caudal_IMP	=\$VM_Caudal_IMP	=\$VM_Caudal_IMP
Ventilation Type		Exhaust	Exhaust	Exhaust
Fan Pressure Rise	Pa	150	150	150
Fan Total Efficiency		0,7	0,7	0,7
Constant Term Coefficient		1	1	1
Temperature Term Coefficient		0	0	0
Velocity Term Coefficient		0	0	0
Velocity Squared Term Coefficient		0	0	0
Minimum Indoor Temperature	С	23	23	23
Minimum Indoor Temperature Schedule Name				
Maximum Indoor Temperature	С	100	100	100
Maximum Indoor Temperature Schedule Name				
Delta Temperature	deltaC	3	3	3
Delta Temperature Schedule Name				
Minimum Outdoor Temperature	C	20	20	20

Fig. 4.33 - Vista parcial de la configuración de la variable del caudal de aire de Ventilación de Confort.

Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

Los procesos descritos anteriormente, se repiten para un total de 32 archivos IDF, ya que por cada uno de los cuatro archivos Patrón, se generan archivos para cada una de las ocho orientaciones, partiendo desde el Sur (0°) y cada 45°, haciendo un recorrido en el sentido horario, hasta llegar al SurEste (315°). El resultado de estos 32 archivos se expone en la siguiente tabla:

		Porcentaje de relación Hueco/Muro									
	20%	40% 60%		80%							
S	Fase 1 – EP.000.020	Fase 1 – EP.000.040	Fase 1 – EP.000.060	Fase 1 – EP.000.080							
SO	Fase 1 – EP.045.020	Fase 1 – EP.045.040	Fase 1 – EP.045.060	Fase 1 – EP.045.080							
0	Fase 1 – EP.090.020	Fase 1 – EP.090.040	Fase 1 – EP.090.060	Fase 1 – EP.090.080							
NO	Fase 1 – EP.135.020	Fase 1 – EP.135.040	Fase 1 – EP.135.060	Fase 1 – EP.135.080							
N	Fase 1 – EP.180.020	Fase 1 – EP.180.040	Fase 1 – EP.180.060	Fase 1 – EP.180.080							
NE	Fase 1 – EP.225.020	Fase 1 – EP.225.040	Fase 1 – EP.225.060	Fase 1 – EP.225.080							
Е	Fase 1 – EP.270.020	Fase 1 – EP.270.040	Fase 1 – EP.270.060	Fase 1 – EP.270.080							
SE	Fase 1 – EP.315.020	Fase 1 – EP.315.040	Fase 1 – EP.315.060	Fase 1 – EP.315.080							

Tabla 4.9 - Relación de los 32 archivos para las simulaciones paramétricas, generados a partir de los ficheros Patrón.

Para finalizar, se lanza el cálculo y, sucesivamente de forma automática, se generarán tantos cálculos y conjuntos de resultados como valores se hayan introducido en el parámetro. En la misma carpeta que contenía los ficheros Patrón, se encontraran todos los ficheros de resultados identificados con el orden en que se han introducido los valores en el objeto paramétrico base "Parametric: FileName Suffix".

Los archivos de salida más relevantes se muestran a continuación:

- .ESO Informe de las variables de salida.
- .RDD Lista de todas las variables que es posible en la simulación.
- •.MDD Lista de las posibles mediciones que observaras en la simulación.
- .ERR Listado de mensajes de errores y avisos.
- •.BND Informe detallado del sistema HVAC y sus nodos de conexión.
- .MTR Informe de las medidas de salida.
- •.SVG Diagrama HVAC.
- .DXF Archivo de dibujo en formato CAD DXF.
- •.CSV Archivo de las variables generadas, en formato separado por comas para uso en hojas de cálculo.

4.5.- ANÁLISIS DE RESULTADOS

El presente trabajo de investigación se centra en demostrar, mediante simulaciones energéticas, que el confort térmico de los recintos habitables de los edificios residenciales de uso vivienda, se puede garantizar a partir de la incorporación, en los proyectos arquitectónicos, de estrategias de diseño bioclimático.

Las estrategias arquitectónicas de diseño pasivo, influyen en las variables que determinan la comodidad térmica de los usuarios dentro de un determinado espacio. "Evaluar esta comodidad térmica resulta compleja dado que depende tanto de variables objetivas (parámetros físicos del recinto) como subjetivas (aquellas que tienen que ver con los ocupantes). Algunos parámetros están relacionados con las condiciones físicas del ambiente del local y, por tanto, pueden ser previstos por el proyectista y controlados por el diseño arquitectónico y constructivo del edificio, o corregidos mediante instalaciones técnicas. Sin embargo, la sensación de comodidad térmica es subjetiva para cada ocupante porque depende de parámetros personales que no siempre se pueden predecir, por tanto, existirá un margen de error que conviene acotar mediante técnicas estadísticas". (Martín, 2006a, p. 49).

La evaluación de la comodidad térmica depende de seis factores, dos personales: la actividad física y la vestimenta de los usuarios; y cuatro ambientales: la temperatura del aire interior, temperatura radiante media, la velocidad del aire interior y la humedad relativa interior.

Fac	ctores personales	Factores ambientales
Ac	tividad física (Met)	Temperatura del aire (Ta) Temperatura radiante media (Trm)
Ve	stimenta (Clo)	Velocidad del aire (V) Humedad relativa del aire (HR)

Fig. 4.34 - Factores que intervienen en la evaluación de la comodidad térmica.

Fuente: Martín, 2006a, p. 49.

Estas variables "intervienen simultáneamente y se pueden compensar entre sí, de manera que si una actividad física intensa o un arropamiento elevado aumenta la sensación de calor de los ocupantes de un local, que se puede compensar disminuyendo la temperatura del aire o de las superficies del entorno, aumentando la velocidad del aire, o disminuyendo la humedad relativa para favorecer la transpiración". (Martín, 2006a, p. 50).

Llegados a este punto es importante introducir el concepto de Temperatura Operativa (Θ_0). Según se define en la Norma UNE-EN ISO 7730, "es la temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme". En definitiva, la Temperatura Operativa mide las condiciones ambientales que determinan la temperatura en la que el cuerpo humano elimina calor por convección y por radiación, para garantizar un grado mínimo de bienestar térmico.

La Temperatura Operativa resulta de la ponderación de la temperatura radiante media de los cerramientos de un local y la temperatura seca del aire, considerando que ambas contribuyen a la temperatura ambiental con sus coeficientes de transferencia de calor radiante y convectivo.

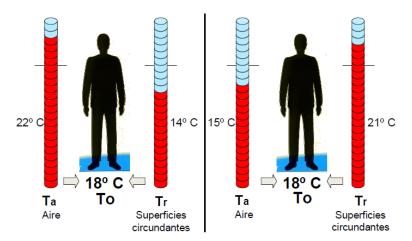


Fig. 4.35 - Temperatura Operativa y factores ambientales.

Fuente: Ferrer Ferrando, 2011

Este parámetro representa, de manera inequívoca, la temperatura percibida por una persona en el interior de un recinto, y nos ayuda a entender cómo, a pesar de que la temperatura del aire sea la apropiada (22 °C), esa persona siente incomodidad térmica al percibir una temperatura inadecuada (18 °C). Ello se debe a que la temperatura radiante de los cerramientos circundantes al recinto, mantienen una temperatura relativamente baja (14 °C).

Además, suele emplearse en los cálculos de algunos índices de confort, como en el caso del modelo de confort adaptativo, en el que se relaciona el concepto de Temperatura Operativa con el porcentaje de insatisfechos en unas condiciones determinadas.

Podemos concluir, por tanto, que la **Temperatura Operativa** es el principal factor ambiental que se debe tomar como valor de referencia a la hora de evaluar la comodidad térmica percibida por los usuarios dentro de un determinado recinto, según el grado de arropamiento y la actividad que desarrollen.

Otro factor ambiental determinante es la **velocidad del aire**, que por lo general suele ser reducida en los ambientes interiores, pero puede ser modificada para compensar la sensación de calor.

"La refrigeración producida por el movimiento del aire es debida a dos fenómenos. El primero es evaporativo y está provocado por el aumento de la tasa de evaporación del sudor al entrar en contacto con la corriente de aire. La evaporación absorbe la energía del cuerpo refrigerándolo".

El segundo fenómeno se produce al aumentar la transferencia de calor por convección entre el cuerpo y el aire. Esta viene potenciada en gran medida por la presencia de flujos turbulentos en contacto con el cuerpo que provocan el incremento del coeficiente convectivo al forzar una mayor renovación del aire de la capa límite". (Velasco, 2011, p. 22).

El factor ambiental menos relevante quizás sea la **humedad relativa**, ya que únicamente se considera en situaciones extremas de calor y humedad. No obstante, es una variable a considerar ya que afecta directamente a la tasa de evaporación del sudor y, por ende, al confort térmico. Niveles de humedad relativa bajos implican tasas de evaporación altas y, mientras que niveles de humedad relativa altos dificultan la evaporación del sudor, pudiendo llegar a anular gran parte del potencial refrigerante que produce la sudoración.

Los rangos óptimos de humedad relativa comúnmente aceptados, y así se recoge en numerosas normativas nacionales, son los comprendidos entre el 30% y el 70%; sin embargo, si se consideraran factores de índole sanitario, tales como irritación de las mucosas nasales, sequedad de la piel, lipoatrofia semicircular (electricidad estática), crecimiento de microorganismos, etc..., el rango óptimo de la humedad relativa estaría comprendido entre el 40% y el 60%.

En el modelo adaptativo se considera que las temperaturas operativas situadas dentro de los límites de confort, engloban la totalidad de las variables y parámetros que inciden sobre el bienestar térmico, entre ellas la humedad relativa, ya que se trata de un estándar que surge como resultado de estudios realizados sobre edificios reales, en el que las condiciones ambientales (humedad relativa) eran las propias de cada lugar, considerándose por tanto incluidas dentro de los resultados.

Con todo lo anterior, en este trabajo de investigación para evaluar las condiciones de bienestar térmico a lo largo de un año, en régimen horario, se ha empleado el método del "Porcentaje fuera de rango" (EN 15251:2007, Anexo F, p. 40). Este método consiste en calcular el número o porcentaje de horas de ocupación durante las cuales la temperatura operativa está fuera del rango de confort especificado ($\Delta\Theta_i$), un número de horas determinado ($d\Theta_i$).

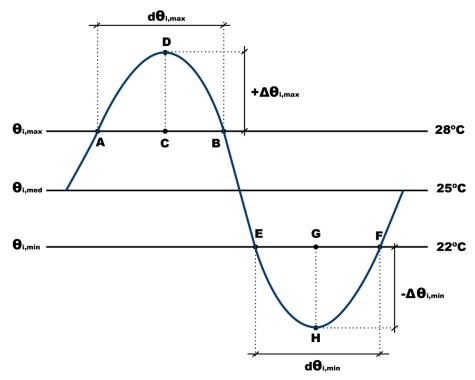


Fig. 4.36 - Porcentajes de hora en que la temperatura Operativa se encuentra fuera de los límites de confort $(\Delta\Theta_i)$ un determinado número de horas $(d\Theta_i)$. Fuente: Elaboración propia.

El número de horas del año, en las cuales no se cumplen estas condiciones, se han obtenido de las simulaciones energéticas ejecutadas con el software EnergyPlus Versión 8.1.0, Build009 (31 Diciembre 2013). Se establece un límite de tolerancia en el que la temperatura operativa se puede mantener fuera de la zona de confort.

En el Anexo G de la Norma UNE-EN 15251:2007, se establecen los criterios recomendados para desviaciones aceptables, en el que los parámetros en los recintos que representen el 95% de espacio ocupado no son más que un ejemplo del 3% (o 5%) de las horas de ocupación en un día, una semana, un mes y un año fuera de los límites de la categoría especificada.

En la siguiente tabla se muestra el tiempo que corresponde al 3% o al 5% de desviación basada en las horas de trabajo y horas totales.

3% / 5% Diariamente del periodo (minutos)		Semanalmente (horas)	Mensualmente (horas)	Anualmente (horas)	
Horas de trabajo	15 / 24	1/2	5/9	61 / 108	
Horas totales	43 / 72	5/9	22 / 36	259 / 432	

Tabla 4.10 - Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 5% del tiempo. Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla G.1 de la UNE-EN 15251:2007.

Esto se permite para cortas desviaciones de tiempo, por ejemplo cuando se abran las ventanas, aceptando, en un tiempo corto, un incremento de la velocidad del aire, así como la pérdida del aislamiento acústico a ruido aéreo exterior en el recinto. Como ejemplo se permite en el nivel del 5% tener una temperatura por encima del criterio durante 108 h al año, pero no más de 24 min durante un día de trabajo y durante 2 h de una semana de trabajo.

Por el contrario, en el Anexo G del proyecto de Norma prEN 15251:2014, se establecen los criterios recomendados para desviaciones aceptables, en el que los parámetros en los recintos que representen el 95% de espacio ocupado no son más que un ejemplo del 3% (o 6%) de las horas de ocupación en un día, una semana, un mes y un año fuera de los límites de la categoría especificada.

X%/Y%	Semanalmente (horas)		Mensua (ho		Anualmente (horas)	
del periodo	20%	50%	12%	25%	3%	6%
Horas de trabajo	8	20	21	44	63	126
Horas totales	4	0	175		2.100	
Tiempo total	33	58	86	180	259	518
Horas totales	166		720		8.640	

Tabla 4.11 - Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 6% del tiempo.

Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla G.1 de la prEN 15251:2014.

Como ejemplo se permite en el nivel del 6% tener una temperatura por encima del criterio durante 126 h al año, pero no más de 4 horas durante un día de trabajo y durante 15 h de una semana de trabajo. Tiene que haber una relación razonable entre las desviaciones en base anual, mensual y semanal.

Llama la atención que, en este proyecto de norma, no se establecen porcentajes de desviaciones diarias, tal y como se hace en la Norma vigente.

Analizando ambos procedimientos, parecen más razonables las amplitudes de desviaciones recogidas en el proyecto de norma prEN 15251:2014, que las establecidas en la Norma UNE-15251:2007, que resultan excesivamente restrictivas.

En cualquier caso, en este trabajo de investigación se ha optado por establecer condiciones intermedias entre ambas normativas, siendo más permisivas que las establecidas en la Norma vigente, pero más restrictivas que las recogidas en el proyecto de norma.

En la siguiente tabla se muestran los porcentajes de las desviaciones adoptadas, basadas en las horas de horas totales.

3% del periodo	Diariamente (horas)	Semanalmente (horas)	Mensualmente (horas)	Anualmente (horas)
dei periodo	15%	10%	5%	3%
Horas periodo	4	18	37	262
Horas totales	24	82	730	8.760

Tabla 4.12 - Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 5% del tiempo. Fuente: Elaboración propia a partir de la Tabla G.1 de la UNE-EN 15251:2007.

Por otro lado, se establece la restricción de que estas condiciones se deben cumplir, simultáneamente en cada una de las tres Zonas térmicas, con el objetivo de que las estrategias bioclimáticas seleccionadas obedezcan a una única concepción constructiva, investigando a nivel edificio y no a nivel Zona.

El análisis de resultados comienza cargando, en la aplicación Excel **Gestión de Resultados Simulaciones Tesis**", los archivos de salida con extensión "csv" generados en los cálculos paramétricos.

Tal y como se explicó en el Capítulo 3, la aplicación Excel adopta de forma implícita el modelo de confort adaptativo, considerando las velocidades del aire en el interior de los recintos. Esta estimación se asume simplemente desplazando el límite superior de la zona de confort un determinado número de grados, en función de la velocidad de aire seleccionada. Con el objetivo de poder correlacionar el nombre del fichero de simulación con la velocidad del aire interior asignada, se hace necesario proceder al renombrado de los ficheros. Este renombrado se hace de forma manual y, a partir de un solo fichero, se generan cuatro nuevos ficheros insertándoles, en su nombre original, un código numérico de tres cifras que lo relaciona con la velocidad del aire interior.

De este modo tenemos que, para cada fichero generado en las simulaciones paramétricas, con nombre: **Fase X – EP.YYY.ZZZ-NNN.idf**, se crean cuatro nombres nuevos, siguiendo el siguiente formato:

Fase X - EP.YYY.ZZZWWW-NNN.idf

Donde:

X = Número de fase de la simulación (1 a 6)

EP = Indica que el fichero ha sido generado en EnergyPlus

YYY = Orientación del edificio (Sur= 000, SurOeste= 045, Oeste= 090,)

ZZZ = Porcentaje de relación Hueco/Muro (20% = 020, 40% = 040,)

WWW = Velocidad del aire interior (0,30 m/s, 0,60 m/s, 0,90 m/s y 1,20 m/s)

NNN = Número de orden secuencial de la simulación paramétrica

idf = Extensión del archivo EnergyPlus

Por ejemplo, para el primer fichero de simulación paramétrica de la Fase 1, denominado: Fase 1 – EP.000.020-001.idf, en la aplicación Excel se han creado los siguientes ficheros: Fase 1 – EP.000.020.030-001.idf, Fase 1 – EP.000.020.060-001.idf, Fase 1 – EP.000.020.120-001.idf.

Desde la Hoja "Gestión de Resultados" de la aplicación Excel, y mediante la pulsación el botón "Datos", se procede a la lectura de los ficheros de salida en formato "csv" generados en EnergyPlus, seleccionando los datos correspondientes a la temperatura operativa y humedad relativa de cada una de las tres zonas térmicas existente, y copiándolos en la Hoja "Datos" de la aplicación Excel.

Una vez cargado en esta Hoja inicial, los datos son procesados en la Hoja "Tablas To Meses" para las cuatro velocidades de aire interior previstas (4.608 archivos), generándose datos a nivel diario, semanal, mensual y anual, para cada una de las tres Zonas térmicas. Al cargarse los datos en esta hoja, se calcula, de forma automática y para cada uno de los periodos de tiempo, el porcentaje de horas en que la temperatura operativa se encuentra fuera de los límites de confort.

Una vez procesados, estos datos son copiados a la Hoja "Gestión de Resultados", donde se les aplica el filtrado que determina aquellas simulaciones que cumplen con las exigencias fijadas.

A continuación se expone el análisis de resultados obtenidos en cada fase de simulación.

4.5.1.-Fase 1.- Simulación paramétrica archivos Patrón:

De los 4.608 simulaciones inicialmente existentes en esta primera Fase, superan los requisitos, sin aplicar filtrado en las orientaciones, un 6,65% del total (306 simulaciones).

En las orientaciones NorOeste, Norte y NorEste, ninguna de las 4.608 simulaciones cumple con las exigencias de control establecidas.

Por orientaciones se obtienen los siguientes resultados:

Orientación Sur:

Un 2,20% (101 simulaciones) superan los requisitos establecidos. De ellas, las correspondientes a un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para una relación Hueco/Muro del 60%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase, y se pasa a la siguiente para establecer algún tipo de mejora. No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 80%.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Sur.

ı	ASE 1	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
	7ana 1	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.000.060.060-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
SUR	Zona 2	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
S	2011a 2	Fase 1 - EP.000.060.060-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	ZONA 3	Fase 1 - EP.000.060.060-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,20	3,37

Fig. 4.37 - Resultados de la Fase 1, orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurOeste:

Un 15,20% (70 simulaciones) superan los requisitos establecidos. De ellas, las correspondientes a un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 60%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase, y se pasa a la siguiente para establecer algún tipo de mejora. No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 80%.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurOeste.

	FASE 1	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	7ana 1	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.045.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
ш		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
ESI	Zona 2	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
SUROESTE	2011d 2	Fase 1 - EP.045.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
S										
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	ZUIId 3	Fase 1 - EP.045.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37

Fig. 4.38 - Resultados de la Fase 1, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Oeste:

Un 0,54% (25 simulaciones) superan los requisitos establecidos. De ellas, las correspondientes a un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 40%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase, y se pasa a la siguiente para establecer algún tipo de mejora. No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 60% y 80%.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Oeste.

	FASE 1	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.090.040.120-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	1,20	0,20	3,37
	ZOHA I									
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
OFSTE	Zona 2	Fase 1 - EP.090.040.120-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	1,20	0,20	3,37
OF	ZOTIA Z									
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.090.040.120-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	1,20	0,20	3,37
	2011a 3									

Fig. 4.39 - Resultados de la Fase 1, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Este:

Un 0,65% (30 simulaciones) superan los requisitos establecidos. De ellas, las correspondientes a un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 40%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase, y se pasa a la siguiente para establecer algún tipo de mejora. No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 60% y 80%.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Este.

ı	FASE 1	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.270.040.090-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
	20110 1									
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
STE	7000 2	Fase 1 - EP.270.040.090-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
ES	Zona 2									
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.270.040.090-012	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
	ZOIIa 3									

Fig. 4.40 - Resultados de la Fase 1, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación SurEste:

Un 1,74% (80 simulaciones) superan los requisitos establecidos. De ellas, las correspondientes a un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%y 40%, obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 60%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase, y se pasa a la siguiente para establecer algún tipo de mejora. No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 80%.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurEste.

	FASE 1	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	ZONA 1	Fase 1 - EP.315.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
ш		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
FST	Zona 2	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
SURFSTE	2011a 2	Fase 1 - EP.315.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	2011a 3	Fase 1 - EP.315.060.090-021	60%	70%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,20	3,37

Fig. 4.41 - Resultados de la Fase 1, orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

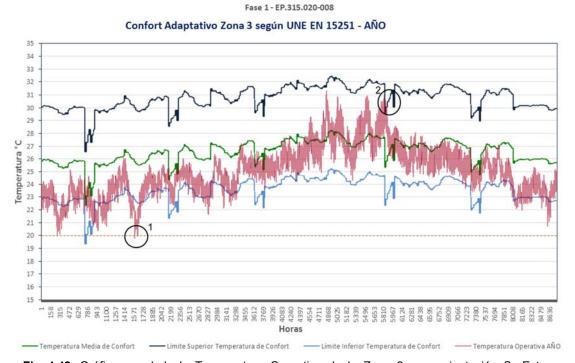


Fig. 4.42 - Gráfica anual de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.

Fuente: Elaboración propia.

En la Fig. 4.42 se puede observar que, en régimen de invierno, existen temperaturas por debajo del límite inferior de confort adaptativo, pero sin embargo, se encuentran por encima de los 20 °C, por lo que se consideran en

zona de confort. No obstante, a principios de marzo existen temperaturas por debajo de los 20 °C (ver círculo 1). Algo similar ocurre a principios de septiembre, donde la temperatura operativa supera el límite superior de la zona de confort. (ver círculo 2).

En la Fig. 4.43 puede observarse como en la segunda semana del marzo, la temperatura operativa de la Zona 3 se encuentra por debajo del límite inferior de la zona de confort adaptativo, y es inferior a los 20 °C.

En la Fig. 4.44 puede observarse como en la segunda semana del marzo, los días 8 y 10, la temperatura operativa de la Zona 3 se encuentra por debajo del límite inferior de la zona de confort adaptativo, y es inferior a los 20 °C.

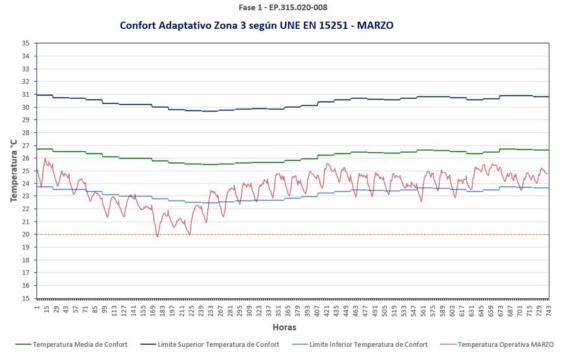


Fig. 4.43 - Gráfica, correspondiente al mes de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.

Fuente: Elaboración propia.

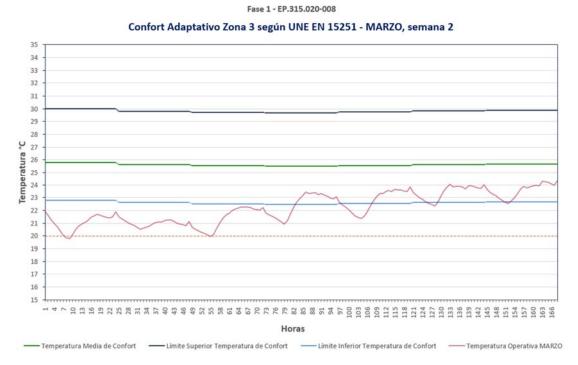


Fig. 4.44 - Gráfica, correspondiente a la segunda semana del mes de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s. Fuente: Elaboración propia.

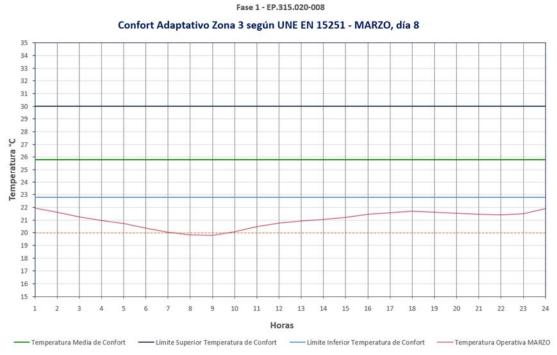


Fig. 4.45 - Gráfica, correspondiente al día 8 de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.
 Fuente: Elaboración propia.



Fig. 4.46 - Gráfica, correspondiente al día 10 de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.

4.5.2.- Fase 2.- Mejora Transmitancia límite de la Cubierta:

De las 6.912 simulaciones inicialmente existentes en esta segunda Fase, superan los requisitos, sin aplicar filtrado en las orientaciones, un 9,45% del total (653 simulaciones).

Por orientaciones se obtienen los siguientes resultados:

Orientación Sur:

Un 0,77% (53 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60% y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Sur.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	Ս _զ Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	ZONA 1	Fase 2 - EP.000.060.060-023	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 2 - EP.000.080.060-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	3,37
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
SUR	Zona 2	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
S	2011a 2	Fase 2 - EP.000.060.060-023	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 2 - EP.000.080.060-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	3,37
		Fase 1 - EP.000.020.060-007	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	1,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.000.040.060-022	40%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	2011a 3	Fase 2 - EP.000.060.060-023	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 2 - EP.000.080.060-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	3,37

Fig. 4.47 - Resultados de la Fase 2, orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurOeste:

Un 0,19% (13 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, esta simulación no es escogida en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurOeste.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	2011a 1	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
		Fase 2 - EP.045.080.120-021	80%	70%	5,70	1,35	0,85	1,20	0,20	3,37
ш		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
SUROESTE	Zona 2	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
JRC	2011d 2	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
S		Fase 2 - EP.045.080.120-021	80%	70%	5,70	1,35	0,85	1,20	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	ZUNA 3	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
		Fase 2 - EP.045.080.120-021	80%	70%	5,70	1,35	0,85	1,20	0,20	3,37

Fig. 4.48 - Resultados de la Fase 2, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación Oeste:

Un 0,54% (37 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 40%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 60% y 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, estas simulaciones no son escogidas en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Oeste.

ı	ASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	ZUIId I	Fase 2 - EP.090.060.090-056	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.090.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
STE	Zona 2	Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
OESTI	ZONA Z	Fase 2 - EP.090.060.090-056	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.090.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 3	Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	2011d 3	Fase 2 - EP.090.060.090-056	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.090.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37

Fig. 4.49 - Resultados de la Fase 2, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorOeste:

Un 2,01% (139 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 20%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, estas simulaciones no son escogidas en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación NorOeste.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
	7 1	Fase 2 - EP.135.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.135.060.120-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	1,20	0,20	3,37
ш		Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
ES.	7 2	Fase 2 - EP.135.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
NOROESTE	Zona 2	Fase 2 - EP.135.060.120-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	1,20	0,20	3,37
ž										
		Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
	7 2	Fase 2 - EP.135.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
	Zona 3	Fase 2 - EP.135.060.120-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	1,20	0,20	3,37

Fig. 4.50 - Resultados de la Fase 2, orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Norte:

Un 2,42% (167 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 20%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, estas simulaciones no son escogidas en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Norte.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.180.040.030-038	40%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	2,37
	2011a 1									
		Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
NORTE	Zona 2	Fase 2 - EP.180.040.030-038	40%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	2,37
8	20110 2									
		Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
	Zona 3	Fase 2 - EP.180.040.030-038	40%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	2,37
	2011a 3									

Fig. 4.51 - Resultados de la Fase 2, orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorEste:

Un 2,24% (155 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 20%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, estas simulaciones no son escogidas en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación NorEste.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 2 - EP.225.020.030-042	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	3,37
	7ana 1	Fase 2 - EP.225.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.225.060.090-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
ш		Fase 2 - EP.225.020.030-042	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	3,37
EST	Zona 2	Fase 2 - EP.225.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
NORESTE	ZONA Z	Fase 2 - EP.225.060.090-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
2										
		Fase 2 - EP.225.020.030-042	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	3,37
	Zona 3	Fase 2 - EP.225.040.030-057	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,20	3,37
	ZUIId 3	Fase 2 - EP.225.060.090-039	60%	30%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37

Fig. 4.52 - Resultados de la Fase 2, orientación NorEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación Este:

Un 0,87% (60 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 40%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

Para un relación Hueco/Muro del 60% y 80%, el resultado obtenido se basa en una estanqueidad al aire de la envolvente excesivamente exigente: 0,20 renov/hora; por ello, estas simulaciones no son escogidas en esta Fase.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Este.

	ASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	ZUIIa I	Fase 2 - EP.270.060.090-020	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.270.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
ESTE	Zona 2	Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
ES	ZUIId Z	Fase 2 - EP.270.060.090-020	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.270.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 3	Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	2011d 3	Fase 2 - EP.270.060.090-020	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,90	0,20	2,37
		Fase 2 - EP.270.080.090-057	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,20	3,37

Fig. 4.53 - Resultados de la Fase 2, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurEste:

Un 0,42% (29 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60 y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica bastante moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurEste.

	FASE 2	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	ZOHA 1	Fase 2 - EP.315.060.060-024	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37
		Fase 2 - EP.315.080.090-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	3,37
ш		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
EST	Zona 2	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
SURESTE	2011a 2	Fase 2 - EP.315.060.060-024	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37
03		Fase 2 - EP.315.080.090-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	3,37
		Fase 1 - EP.315.020.060-008	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	1,00	2,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.315.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	ZONA 3	Fase 2 - EP.315.060.060-024	60%	70%	5,70	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37
		Fase 2 - EP.315.080.090-060	80%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	3,37

Fig. 4.54 - Resultados de la Fase 2, orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.3.-Fase 3.- Mejora Transmitancia límite del Hueco:

De las 4.320 simulaciones inicialmente existentes en esta tercera Fase, superan los requisitos, sin aplicar filtrado en las orientaciones, un 30,85% del total (1.333 simulaciones).

Por orientaciones se obtienen los siguientes resultados:

Orientación SurOeste:

Un 0,58% (25 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurOeste.

	FASE 3	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 1	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	2011d 1	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.045.080.120-027	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	1,00	3,37
ш		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
ES.	Zona 2	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
SUROESTE	2011a 2	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
S		Fase 3 - EP.045.080.120-027	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	1,00	3,37
		Fase 1 - EP.045.020.060-022	20%	70%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	1,37
	Zona 3	Fase 1 - EP.045.040.090-015	40%	50%	5,70	1,35	1,20	0,90	0,60	3,37
	2011d 3	Fase 2 - EP.045.060.090-059	60%	70%	5,70	1,35	0,50	0,90	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.045.080.120-027	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	1,00	3,37

Fig. 4.55 - Resultados de la Fase 3, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Oeste:

Un 1,83% (79 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60% y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Oeste.

	FASE 3	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.090.060.090-024	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,90	0,60	3,37
		Fase 3 - EP.090.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37
	Zona 2	Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
ESTE		Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
OE	2011a 2	Fase 3 - EP.090.060.090-024	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,90	0,60	3,37
		Fase 3 - EP.090.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37
		Fase 1 - EP.090.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	7 2	Fase 2 - EP.090.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	Zona 3	Fase 3 - EP.090.060.090-024	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,90	0,60	3,37
		Fase 3 - EP.090.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37

Fig. 4.56 - Resultados de la Fase 3, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorOeste:

Un 6,50% (281 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación NorOeste.

FASE 3		Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
	Zona 1	Fase 3 - EP.135.040.060-014	40%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.135.060.060-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.135.080.060-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37
ш	Zona 2	Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
SES.		Fase 3 - EP.135.040.060-014	40%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
NOROESTE	ZONA Z	Fase 3 - EP.135.060.060-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
ž		Fase 3 - EP.135.080.060-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37
		Fase 2 - EP.135.020.030-050	20%	50%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	2,37
	7000 2	Fase 3 - EP.135.040.060-014	40%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
	Zona 3	Fase 3 - EP.135.060.060-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.135.080.060-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	3,37

Fig. 4.57 - Resultados de la Fase 3, orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Norte:

Un 11,55% (499 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Norte.

FASE 3		Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
	Zona 1	Fase 3 - EP.180.040.030-006	40%	30%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	3,37
		Fase 3 - EP.180.060.030-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.180.080.060-013	80%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	1,37
	Zona 2	Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
NORTE		Fase 3 - EP.180.040.030-006	40%	30%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	3,37
ON.		Fase 3 - EP.180.060.030-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.180.080.060-013	80%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	1,37
		Fase 2 - EP.180.020.030-040	20%	30%	5,70	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
	Zona 3	Fase 3 - EP.180.040.030-006	40%	30%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	3,37
	ZUIId 3	Fase 3 - EP.180.060.030-023	60%	70%	3,20	1,35	0,85	0,30	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.180.080.060-013	80%	50%	3,20	1,35	0,85	0,60	0,60	1,37

Fig. 4.58 - Resultados de la Fase 3, orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación Este:

Un 2,08% (92 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60% y 80%. Se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Figura, se exponen los resultados obtenidos para la orientación Este.

	FASE 3	Código de Simulación	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	Velocidad del Aire	Caudal Infiltrac.	Caudal Vent. Mecánica
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	Zona 1	Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
		Fase 3 - EP.270.060.030-067	60%	100%	3,20	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
		Fase 3 - EP.270.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37
	7 2	Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
ESTE		Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
ES	Zona 2	Fase 3 - EP.270.060.030-067	60%	100%	3,20	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
		Fase 3 - EP.270.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37
		Fase 1 - EP.270.020.060-006	20%	30%	5,70	1,35	1,20	0,60	0,60	3,37
	7 2	Fase 2 - EP.270.040.060-059	40%	70%	5,70	1,35	0,50	0,60	0,60	2,37
	Zona 3	Fase 3 - EP.270.060.030-067	60%	100%	3,20	1,35	0,50	0,30	0,60	1,37
		Fase 3 - EP.270.080.120-024	80%	70%	3,20	1,35	0,85	1,20	0,60	3,37

Fig. 4.59 - Resultados de la Fase 3, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.4.-Resumen Fases 1 a 3:

A continuación se exponen aquellas estrategias de diseño pasivo a partir de las cuales se ha conseguido que, en la Fase 3, la temperatura operativa de las tres zonas térmicas se mantenga dentro de los límites de la zona de confort.

Atendiendo al **factor orientación**, se puede resumir lo siguiente:

- •En las orientaciones **Sur, SurOeste y SurEste**, la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, y la de la fachada de 1,35 W/m²·K. Según sea el porcentaje de relación Hueco/Muro, la cubierta varía su transmitancia térmica límite entre 1,20, 0,85 y 050 W/m²·K; el factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,70, 0,50 y 0,30; el Factor Solar Modificado límite del Hueco entre el 0,73, 0,74 y 0,77, y el caudal de infiltración varía entre 1 renov/hora y 0,60 renov/hora.
- •En las orientaciones **Oeste y Este**, la Transmitancia térmica límite de la fachada es de 1,35 W/m²·K. Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, la transmitancia térmica límite del hueco es de 5,70 W/m²·K, mientras que para los porcentajes del 60% y 80% es de 0,32 W/m²·K. Según sea el porcentaje de relación Hueco/Muro, la cubierta varía su transmitancia térmica entre 1,20, 0,85 y 050 W/m²·K; el factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,70, 0,30 y 0,00; el Factor Solar Modificado límite del Hueco entre el 0,73, 0,74 y 0,77, y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora.
- •En las orientaciones **NorOeste, Norte y NorEste**, la Transmitancia térmica límite de la fachada es de 1,35 W/m²·K. Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, la transmitancia térmica límite del hueco es de 5,70 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K, mientras que para los porcentajes del 40%, 60% y 80% la transmitancia térmica límite del hueco es de 0,32 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K. Según sea el

porcentaje de relación Hueco/Muro, el factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,70, 0,50 y 0,30; el Factor Solar Modificado límite del Hueco entre el 0,73, 0,74 y 0,77, y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora.

Atendiendo al **porcentaje de relación Hueco/Muro**, se puede resumir lo siguiente:

- En las orientaciones **Sur, SurOeste y SurEste**, la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, para cualquier porcentaje de relación Hueco/Muro.
- En las orientaciones **Oeste y Este**, la Transmitancia térmica límite del hueco es de 5,70 W/m²·K, un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, mientras que para los porcentajes del 60% y 80% es de 0,32 W/m²·K.
- En las orientaciones **NorOeste, Norte y NorEste**, para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, la transmitancia térmica límite del hueco es de 5,70 W/m²·K, mientras que para los porcentajes del 40%, 60% y 80% la transmitancia térmica límite del hueco es de 0,32 W/m²·K.

En la siguiente tabla se exponen los resultados:

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0.70	5,70	1,35	1,20	0,74	1,00	25.000
~	40%	0,30	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	25.000
SUR	60%	0.30	5,70	1,35	0.85	0.73	0.60	25.000
	80%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	25.000
ш	20%	0,30	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	25.000
SUROESTE	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	25.000
RO	60%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,73	0,60	25.000
SU	80%	0,30	5,70	1,35	0,85	0,74	1,00	25.000
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	25.000
STE	40%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,77	0,60	25.000
OESTE	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	25.000
	80%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	25.000

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _м Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
世	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	25.000
ES	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	25.000
NOROESTE	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	25.000
ž	80%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	25.000
	20%	0,70	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	25.000
STE.	40%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	25.000
NORTE	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	25.000
	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	25.000
ш	20%	0,70	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	25.000
NORESTE	40%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	25.000
ORE	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	25.000
Ž	80%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	25.000
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	25.000
끹	40%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,77	0,60	25.000
ESTE	60%	0,00	3,20	1,35	0,50	0,73	0,60	25.000
	80%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	25.000
111	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	1,00	25.000
SURESTE	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	25.000
JR	60%	0,30	5,70	1,35	0,85	0,73	0,60	25.000
S	80%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	25.000

Tabla 4.13 - Resumen de estrategias bioclimáticas de las Fases 1 a 3.

Antes de continuar, se realiza una homogenización en los parámetros de caudal de infiltración con valores de 1 renov/hora, en las orientaciones Sur, SurOeste y Sureste, sustituyendo en cada caso por una solución similar con caudal de infiltración de 0,60 renov/hora.

A partir de estas combinaciones de estrategias bioclimáticas, en las siguientes fases del trabajo se va a evaluar si la capacidad térmica del suelo interior varía algún parámetro y, en caso de que así fuere, se procederá a realizar los ajustes necesarios hasta conseguir que, nuevamente, se cumplan con las exigencias de control establecidos.

4.5.5.-Fase 4.- Evaluar capacidad térmica suelo interior:

A partir de los ficheros de simulación, cuyas combinaciones de estrategias pasivas han cumplido con los objetivos marcados, se generan nuevos ficheros paramétricos para cada una de las orientaciones y porcentajes de relación Hueco/Muro. En estos nuevos ficheros se establecen tres grupos de variables paramétricas:

- a) Factor de sombra del dispositivo de sombra móvil.
- b) Caudal de ventilación de confort.
- c) Tipo de pavimento interior.

El tipo de pavimento interior (madera o moqueta) implica una modificación en la capacidad térmica del mismo (capacidad de acumular calor). La capacidad térmica \mathbf{C}_t de un cerramiento homogéneo depende de su masa superficial \mathbf{m} (Kg/m2), que es función de su espesor \mathbf{e} (m) debido a su densidad $\mathbf{\rho}$ (Kg/m3), y de su calor específico C_p (KJ/Kg·°C). Se puede estimar según la siguiente expresión:

$$C_t = \mathbf{m} \cdot C_p = \mathbf{e} \cdot \mathbf{\rho} \cdot C_p \text{ (KJ/m}^2 \cdot {}^{\circ}C)$$
 [4.XX]

Material	е	ρ	Cp	C _T
iviateriai	(m)	(kg /m³)	J/Kg·K	KJ/m²· °C
Baldosas cerámicas	0,010	2.500	1.000	25.000
Pavimento de madera	0,030	550	1.600	26.400
Pavimento de moqueta	0,010	200	1.300	2.600

Tabla 4.14 - Fase 4. Propiedades de los tipos de pavimentos empleados. Fuente: Elaboración propia.

Field	Units	Obj1	Obj2	Obj3
Name		\$PersianaBajada	\$VM_Caudal_IMP	\$TipoPavimento
Value for Run 1		0.7	1.37	Pavimento Madera
Value for Run 2		0.7	2.37	Pavimento Madera
Value for Run 3		0.7	3.37	Pavimento Madera
Value for Run 4		0.7	1.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 5		0.7	2.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 6		0.7	3.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 7		0.5	1.37	Pavimento Madera
Value for Run 8		0.5	2.37	Pavimento Madera
Value for Run 9		0.5	3.37	Pavimento Madera
Value for Run 10		0.5	1.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 11		0.5	2.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 12		0.5	3.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 13		0.3	1.37	Pavimento Madera
Value for Run 14		0.3	2.37	Pavimento Madera
Value for Run 15		0.3	3.37	Pavimento Madera
Value for Run 16		0.3	1.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 17		0.3	2.37	Pavimento Moqueta
Value for Run 18		0.3	3.37	Pavimento Moqueta

Fig. 4.60 - Fase 4. Variables paramétricas empleadas en las fases 4 a 6. Fuente: Elaboración propia con el software EnergyPlus.

A continuación se expone aquellas estrategias de diseño pasivo relacionadas con los parámetros característicos de la envolvente térmica, a partir de las cuales se ha conseguido cumplir que, en las tres Zonas térmicas, la temperatura operativa se mantenga dentro de los límites que determina la zona de confort.

Atendiendo al **factor orientación**, se puede resumir lo siguiente:

Orientación Sur:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 1,20 W/m²·K y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, el factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70 y el factor Solar Modificado límite de 0,74. Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, el factor

de sombra del dispositivo móvil es del 0,50 y el factor Solar Modificado límite de 0,77. No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 60% y 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U ℚ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
				T				
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	26.400
	60%	-	-	-	-	-	-	-
SUR	80%	-	-	-	-	-	-	-
S	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600
	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	2.600
	60%	-	-	-	-	-	-	-
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.15 - Fase 4. Orientación Sur. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurOeste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20% y 40%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 1,20 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre 0,50 y 0,30, y el factor Solar Modificado límite es de 0,74 (Hueco/Muro = 20%) y 0,77 (Hueco/Muro = 40%).

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 0,50 W/m²·K y el caudal de infiltración es de

0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70, y el factor Solar Modificado límite es de 0,73.

No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	Սզ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	_			T				1
	20%	0,30	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,73	0,60	26.400
ES	80%	-	-	-	-	-	-	-
SUROESTE	20%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600
S	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,73	0,60	2.600
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.16 - Fase 4. Orientación SurOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Oeste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40% y 60%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos varía entre 5,70 W/m²·K (Hueco/Muro = 40%) y 3,20 W/m²·K (Hueco/Muro = 60%), la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta de 0,85 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre 0,50 (Hueco/Muro = 40%) y 0,70 (Hueco/Muro = 60%), y el factor Solar Modificado límite es de 0,77 (Hueco/Muro = 40%) y 0,73 (Hueco/Muro = 60%).

No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 20% y el 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	-	_	-	-	-	-	- 1
	40%	0,50	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
王	80%	-	-	-	-	-	-	-
OESTE	20%	-	-	-	-	-	-	-
	40%	0,50	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.17 - Fase 4. Orientación Oeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorOeste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,50, y el factor Solar Modificado límite es de 0,74.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40% y 60%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,50 (Hueco/Muro = 40%) y el 0,70 (Hueco/Muro = 60%), y el factor Solar Modificado límite es de 0,77 (Hueco/Muro = 40%) y 0,73 (Hueco/Muro = 80%).

No se obtienen resultados para una relación Hueco/Muro del 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	Uн Hueco	U _M Fachada	Սզ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	<u> </u>			Т				1
	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
ES	80%	-	-	-	-	-	-	-
NOROESTE	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
Ž	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.18 - Fase 4. Orientación NorOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Norte:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,30, y el factor Solar Modificado límite es de 0,74.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,50 (Hueco/Muro = 40% y 80%) y el 0,30 (Hueco/Muro = 60%), y el factor Solar Modificado límite es de 0,77 (Hueco/Muro = 40%), 0,73 (Hueco/Muro = 60%) y 0,74 (Hueco/Muro = 80%).

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	Սզ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
ZTE	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	26.400
NORTE	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.19 - Fase 4. Orientación Norte. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorEste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,50 (pavimento de moqueta) y el 0,30 (pavimento de madera), y el factor Solar Modificado límite es de 0,74.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, y una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,50, y el factor Solar Modificado límite es de 0,77.

No se obtienen resultados para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40% y una capacidad térmica del pavimento interior de 2.600 KJ/m^{2.º}C (pavimento de mogueta).

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60% y 80%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,70 (Hueco/Muro = 60%) y el 0,50 (Hueco/Muro = 80%), y el factor Solar Modificado límite es de 0,73 (Hueco/Muro = 60%) y 0,74 (Hueco/Muro = 80%).

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	200/	0.20	F 70	4.05	0.50	0.74	0.00	20,400
	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
EST	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	26.400
NORESTE	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
Z	40%	-	-	-	-	-	-	-
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.20 - Fase 4. Orientación NorEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Este:

En ninguno de los casos, se obtienen resultados para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, 60% y 80%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos varía entre 5,70 W/m²·K (Hueco/Muro = 40%), y 3,20 W/m²·K (Hueco/Muro = 60% y 80%), la de la

fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K. El caudal de infiltración varía entre 0,60 renov/hora (Hueco/Muro = 40% y 60%), y 0,20 renov/hora (Hueco/Muro = 80%). El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre 0,50 (Hueco/Muro = 40%) y 0,70 (Hueco/Muro = 60% y 80%); y el factor Solar Modificado límite varía entre es de 0,77 (Hueco/Muro = 40%), 0,73 (Hueco/Muro = 60%) y 0,74 (Hueco/Muro = 80%).

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	Uн Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%							
	20%	-	-	-	-	-	-	-
	40%	0,50	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
ш	80%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,74	0,20	26.400
ESTE	20%	-	-	-	-	-	-	-
	40%	0,50	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,74	0,20	2.600

Tabla 4.21 - Fase 4. Orientación Este. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurEste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 1,20 W/m²·K. El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil varía entre el 0,70 (pavimento de madera) y el 0,30 (pavimento de moqueta), y el factor Solar Modificado límite es de 0,74.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m^{2.}°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m^{2.}°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia

térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70, y el factor Solar Modificado límite es de 0,77.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60%, y para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,85 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70, y el factor Solar Modificado límite es de 0,73 (Hueco/Muro = 60%) y 0,74 (Hueco/Muro = 80%).

No se obtienen resultados para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60% y una capacidad térmica del pavimento interior de 2.600 KJ/m^{2.}°C (pavimento de moqueta), ni para una relación Hueco/Muro del 80% en ambos casos.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _н Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
				T				1
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
	40%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
SURESTE	80%	-	-	-	-	-	-	-
N N	20%	0,30	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600
S	40%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	-	-	-	-	-	-	-
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.22 - Fase 4. Orientación Sureste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

4.5.6.-Fase 5.- Ajustes de los parámetros característicos de la envolvente:

Para aquellas simulaciones paramétricas que, en la Fase 4, no cumplieron con las exigencias de control establecidas, en esta Fase del trabajo se realizan ajustes en los parámetros características de la envolvente térmica, para verificar si, alguna de ellos, consigue cumplir con los mencionados criterios de selección.

Orientación Sur:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 0,85 W/m²·K y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70 y el factor Solar Modificado límite de 0,73.

No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	Սզ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
	40%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	26.400
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
SUR	80%	-	-	-	-	-	-	-
S	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600
	40%	0,50	5,70	1,35	1,20	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.23 - Fase 5. Orientación Sur. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación Oeste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 0,85 W/m²·K y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,30 y el factor Solar Modificado límite de 0,74.

No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _н Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,30	5,70	1,35	0.85	0,74	0,60	26.400
	40%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,77	0,60	26.400
	60%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,73	0,60	26.400
世	80%	-	-	-	-	-	-	-
OESTE	20%	0,30	5,70	1,35	0,85	0,74	0,60	2.600
	40%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,73	0,60	2.600
	80%	-	-	-	-	-	-	-

Tabla 4.24 - Fase 5. Orientación Oeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorOeste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 80%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m^{2.o}C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m^{2.o}C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m^{2.}K, la de la fachada de 1,35 W/m^{2.}K, la de la cubierta de 0,50 W/m^{2.}K y el caudal de infiltración es de

0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70 y el factor Solar Modificado límite de 0,74.

No se obtienen resultados para los porcentajes de relación Hueco/Muro del 80%.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
				T		T		
	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
NOROESTE	80%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
ORO	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
Ž	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.25 - Fase 5. Orientación NorOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación NorEste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 40%, para una capacidad térmica del pavimento interior de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 0,50 W/m²·K y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70 y el factor Solar Modificado límite de 0,77.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _н Hueco	U _M Fachada	UQ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
ш	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
EST	40%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
NOREST	60%	0,30	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
Ż	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	26.400

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	UQ Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,50	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
	40%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,85	0,73	0,60	2.600
	80%	0,50	3,20	1,35	0,85	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.26 - Fase 5. Orientación NorEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Este:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 20%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 5,70 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, la de la cubierta de 0,50 W/m²·K y el caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,30 y el factor Solar Modificado límite de 0,74.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
	40%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,77	0,60	26.400
	60%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,73	0,60	26.400
世	80%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
ESTE	20%	0,30	5,70	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
	40%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,77	0,60	
	60%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,73	0,60	2.600
	80%	0,70	3,20	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.27 - Fase 5. Orientación Este. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort. Fuente: Elaboración propia.

Orientación SurEste:

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60%, y para una capacidad térmica del pavimento interior de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70, y el factor Solar Modificado límite es de 0,73.

Para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 80%, tanto para una capacidad térmica del pavimento interior de 26.400 KJ/m²·°C (pavimento de madera), como de 2.600 KJ/m²·°C (pavimento de moqueta), la Transmitancia térmica límite de los Huecos es de 3,20 W/m²·K, la de la fachada de 1,35 W/m²·K, y la de la cubierta es de 0,50 W/m²·K (40%). El caudal de infiltración es de 0,60 renov/hora. El factor de sombra del dispositivo móvil es del 0,70, y el factor Solar Modificado límite es de 0,74.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _н Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	20%	0,70	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	26.400
	40%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	26.400
ш	60%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,73	0,60	26.400
SURESTE	80%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,74	0,60	26.400
U.R.	20%	0,30	5,70	1,35	1,20	0,74	0,60	2.600
S	40%	0,70	5,70	1,35	0,85	0,77	0,60	2.600
	60%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,73	0,60	2.600
	80%	0,70	3,20	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.28 - Fase 5. Orientación SurEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

4.5.7.-Resumen Fases 4 a 5:

En la Fase 4, para las orientaciones Este, con un porcentaje de relación Hueco/Muro del 80%, y SurEste, con un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60% y 80%, se han obtenido resultados que satisfacen las exigencias

establecidas, pero se han obtenido a partir de una estanqueidad al aire excesivamente alta, 0,2 renov/hora.

En la Fase 5, para las orientaciones Sur, SurOeste y Oeste, y para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 80%, no se han obtenido resultados que satisfagan las exigencias de que la temperatura operativa de las tres zonas térmicas se encuentre, de forma simultánea, dentro de los límites de confort adaptativo.

Estas simulaciones se han configurado a partir de los valores máximos previstos de los parámetros característicos de la envolvente térmica, por tanto, resulta imposible establecer mejoras en el ambiente térmico a partir de la modificación de variables constructivas. Por ello se procede a estudiar, en primer lugar y para el periodo anual, para cada una de las cinco orientaciones (Sur, SurOeste, Oeste, Este y SurEste) y para cada una de las tres Zonas térmicas, el porcentaje de horas semanales en que la temperatura operativa se encuentra dentro o fuera de los límites de confort adaptativo.

En segundo lugar se analizarán todas aquellas simulaciones paramétricas que, durante los 365 días del año, muestren las condiciones ambientales más desfavorables en las que se encuentran cada una de las tres Zonas térmicas. Todo ello se realiza con la finalidad de fijar las causas que originan el disconfort y, si estas se deben a condiciones de sobrecalentamiento del aire interior, o a condiciones de enfriamiento.

En tercer y último lugar, y a partir de este estudio, se podrán determinar aquellas variables que, relacionadas con el comportamiento de los usuarios (subir o bajar protecciones solares exteriores, aumentar o disminuir la velocidad o el caudal del aire interior), son susceptibles de mejorar las condiciones ambientales interiores y logran establecer la temperatura operativa de los recintos habitables dentro de la zona de confort.

Examinando las tablas y gráficos correspondientes a las simulaciones de las Fases 4 y 5, se han determinado los códigos de las simulaciones más desfavorables para cada una de las tres orientaciones y zonas térmicas, las cuales se exponen a continuación:

Orientación	Zona 1	Zona 2	Zona 3
Este	Fase 4 - EP.270.080-004	Fase 4 - EP.270.080-004	Fase 4 - EP.270.080-004
Sureste	Fase 4 - EP.315.060-004	Fase 4 - EP.315.060-004	Fase 4 - EP.315.060-004
Sureste	Fase 4 - EP.315.080-004	Fase 4 - EP.315.080-004	Fase 4 - EP.315.080-004
Sur	Fase 5 - EP.000.080-004	Fase 5 - EP.000.080-004	Fase 5 - EP.000.080-004
SurOeste	Fase 5 - EP.045.080-004	Fase 5 - EP.045.080-004	Fase 5 - EP.045.080-004
Oeste	Fase 5 - EP.090.080-004	Fase 5 - EP.090.080-004	Fase 5 - EP.090.080-004

Tabla 4.29 - Fase 4. Orientaciones Este y SurEste.

Fase 5. Orientaciones Sur, SurOeste y Oeste.

Simulaciones paramétricas más desfavorables y que incumplen requisitos de confort.

Fuente: Elaboración propia.

En la siguiente tabla, se exponen las variables de las estrategias de diseño bioclimático relacionadas con las simulaciones paramétricas seleccionadas anteriormente, que son coincidentes para una capacidad térmica del pavimento interior de 2.600 KJ/m².ºC (pavimento de moqueta):

Fase	Orient.	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	Е	0,30	0,57	1,35	0,85	0,74	0,60	2.600
4	SE	0,30	0,32	1,35	1,20	0,73	0,20	2.600
	SE	0,30	0,32	1,35	0,85	0,74	0,20	2.600
	S	0,30	0,32	1,35	0,50	0,74	0,60	2.600
5	so	0,30	0,32	1,35	0,50	0,74	0,20	2.600
	0	0,30	0,32	1,35	1,20	0,74	0,20	2.600

Tabla 4.30 - Fase 4. Orientaciones Este y SurEste. Fase 5. Orientaciones Sur, SurOeste y Oeste. Variables bioclimáticas que incumplen requisitos de confort, en las Zonas 1, 2 y 3.

Fuente: Elaboración propia.

En los gráficos siguientes se muestran, para cada una de las simulaciones paramétricas seleccionadas anteriormente y en periodo mensual, las horas

del día en que la temperatura operativa de cada una de las tres zonas térmicas se encuentra por encima o por debajo del límite de confort térmico.

• Fase 4. Zona 1. Orientación Este. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 1		Fase 4	- EP.270	0.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encin	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	3	15	10	19	1	22	15	19	24	0	9	0
2	3	15	6	17	10	18	12	14	24	6	8	0
3	0	13	0	16	12	19	3	0	21	10	9	0
4	0	7	0	15	10	19	13	6	20	8	9	0
5	0	15	0	17	0	19	15	14	17	9	8	0
6	0	10	0	15	0	20	16	14	15	8	0	0
7	0	10	0	20	8	24	15	0	19	8	11	0
8	0	0	0	0	11	16	13	1	15	8	4	0
9	0	0	0	9	12	17	16	14	15	1	6	1
10	0	7	0	0	15	18	15	11	11	7	0	1
11	0	0	5	6	15	17	17	15	6	8	3	0
12	0	0	6	0	15	14	14	14	12	0	3	0
13	0	2	8	5	10	16	15	15	15	8	0	1
14	0	1	2	11	4	0	15	17	9	0	0	1
15	0	1	12	15	14	12	16	16	9	3	0	4
16	0	8	11	15	14	14	15	13	0	6	0	6
17	0	11	14	13	16	15	16	16	0	0	1	1
18	0	11	13	15	15	0	16	18	0	0	0	0
19	0	13	10	15	16	0	16	21	11	0	1	1
20	0	13	11	16	17	11	16	18	0	0	1	0
21	7	8	13	17	20	15	18	16	10	0	0	0
22	0	11	11	16	17	15	22	15	10	0	0	0
23	0	8	0	17	19	10	14	15	0	0	0	0
24	0	9	11	18	18	15	4	4	0	1	0	0
25	0	9	12	19	14	16	12	12	0	4	0	0
26	1	2	12	18	0	11	15	16	7	4	0	0
27	7	11	12	14	1	12	15	16	6	9	0	0
28	8	12	12	14	0	14	16	17	10	6	0	0
29	2	$\geq $	2	15	11	15	17	18	9	0	0	0
30	0	>	1	17	13	17	18	18	0	0	0	0
31	2	\times	9	\times	12	\times	17	18	\geq	1	\geq	0
3010	33	222	203	404	340	431	457	421	295	115	73	16
34%	4%	33%	27%	56%	46%	60%	61%	57%	41%	15%	10%	2%

Fig. 4.61 - Fase 4. Zona 1. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación Este, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra

sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 2. Orientación Este. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 2		Fase 4	- EP.270	0.080-00	4 - Nº de	horas p	or encin	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	9	24	18	24	13	24	22	22	24	0	14	0
2	10	17	15	21	16	24	17	20	24	11	15	0
3	7	17	7	20	17	24	10	10	24	15	16	0
4	8	14	0	21	18	24	15	11	23	12	16	0
5	8	19	8	20	3	24	17	16	23	15	15	0
6	5	16	10	24	8	24	18	17	18	14	9	0
7	6	15	0	24	13	24	17	1	23	14	17	0
8	4	0	0	8	15	20	18	11	16	13	11	4
9	1	0	0	15	17	23	17	15	17	9	10	9
10	0	12	0	4	17	24	19	15	16	13	0	7
11	3	0	11	11	21	24	19	16	11	12	9	8
12	0	0	10	7	20	22	19	17	16	9	9	7
13	0	8	13	10	19	20	18	18	17	12	0	9
14	0	8	11	16	16	10	18	19	15	0	5	9
15	0	8	16	17	17	17	21	20	14	10	5	11
16	0	14	16	20	19	17	20	19	3	10	8	11
17	0	15	19	20	20	20	19	17	1	0	7	10
18	0	16	19	19	21	3	18	21	6	0	7	8
19	0	17	20	20	20	12	19	24	14	1	7	8
20	0	19	16	21	24	15	21	22	0	4	8	0
21	11	18	17	23	24	17	24	21	15	0	0	7
22	6	16	18	23	23	17	24	19	15	4	1	7
23	7	14	11	22	24	15	20	18	0	0	0	0
24	7	15	16	24	24	17	14	12	0	9	0	0
25	8	17	16	24	24	17	15	14	0	9	0	0
26	9	12	17	24	18	15	17	17	10	10	2	0
27	11	15	17	22	13	17	17	19	10	11	2	7
28	12	17	21	20	9	19	17	20	14	10	2	0
29	9	$\geq \leq$	13	17	16	21	20	20	15	8	0	0
30	0	$\geq <$	10	21	17	21	21	21	6	8	1	7
31	9	$\geq \leq$	14	$\geq <$	20	$\geq <$	20	22	$\geq <$	8	$\geq <$	7
4649	150	363	379	562	546	571	571	534	390	251	196	136
53%	20%	54%	51%	78%	73%	79%	77%	72%	54%	34%	27%	18%

Fig. 4.62 - Fase 4. Zona 2. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación Este, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 3. Orientación Este. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 3		Fase 4	- EP.27	0.080-00	4 - Nº d	horas p	or encin	na del lím	nite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	7	8	17	0	21	15	19	24	0	7	0
2	0	10	3	13	9	17	11	15	24	1	2	0
3	0	12	0	12	12	19	0	0	22	9	8	0
4	0	0	0	9	11	18	11	6	20	8	6	0
5	0	8	0	16	0	18	15	14	16	9	7	0
6	0	2	0	10	0	18	16	15	14	7	0	0
7	0	1	0	18	9	23	14	0	18	7	9	0
8	0	0	0	0	10	15	10	0	15	7	1	0
9	0	0	0	7	9	17	16	13	15	1	0	0
10	0	0	0	0	13	18	15	11	13	6	0	0
11	0	0	1	5	15	15	17	14	7	6	2	0
12	0	0	2	0	13	13	14	15	12	0	2	0
13	0	0	6	2	9	15	15	16	15	8	0	0
14	0	0	2	10	0	0	15	17	8	0	0	0
15	0	0	10	14	11	11	15	17	7	2	0	0
16	0	0	9	15	11	14	15	15	0	2	0	0
17	0	8	10	12	12	14	15	16	0	0	0	0
18	0	8	10	13	10	0	15	19	0	0	0	0
19	0	9	8	15	13	0	17	22	11	0	0	0
20	0	10	7	15	17	11	18	19	0	0	1	0
21	3	1	9	15	18	15	19	16	10	0	0	0
22	0	7	9	15	17	15	24	15	10	0	0	0
23	0	2	0	17	19	9	15	15	0	0	0	0
24	0	8	9	16	17	14	1	3	0	0	0	0
25	0	7	10	15	13	15	13	11	0	2	0	0
26	0	0	6	14	0	12	15	16	7	2	0	0
27	0	8	11	9	0	12	15	16	7	2	0	0
28	2	11	10	9	0	14	16	17	9	1	0	0
29	0	\approx	1	11	11	13	17	18	9	0	0	0
30	0	>	0	15	12	15	19	19	0	0	0	0
31	0	\times	8	\geq	12	\geq	17	20	\geq	0	\geq	0
2623	5	119	149	339	303	411	450	429	293	80	45	0
30%	1%	18%	20%	47%	41%	57%	60%	58%	41%	11%	6%	0%

Fig. 4.63 - Fase 4. Zona 3. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación Este, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 60%:

Zona 1		Fase 4	- EP.31	5.060-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	8	8	8	10	0	0	0	6	22	0	7	0
2	9	12	2	6	0	3	0	0	18	0	8	0
3	4	13	0	3	0	0	0	0	14	5	9	0
4	6	7	0	0	0	0	0	0	15	2	7	0
5	6	9	0	8	0	0	0	0	5	4	7	0
6	4	8	0	0	0	0	0	0	7	5	0	0
7	4	7	0	5	0	3	0	0	14	6	10	3
8	4	0	0	0	0	0	0	0	6	5	7	5
9	4	0	0	0	0	0	5	0	6	4	4	8
10	4	6	0	0	0	0	0	0	4	5	0	6
11	4	0	0	0	0	0	0	5	0	5	6	7
12	0	0	1	0	0	0	0	6	5	2	8	5
13	0	2	0	0	0	0	0	8	6	7	0	7
14	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	0	9
15	1	0	6	0	0	0	0	8	0	5	2	10
16	2	7	4	0	0	0	0	0	0	5	5	9
17	0	8	8	0	0	0	0	8	0	0	6	9
18	0	8	8	0	0	0	1	14	0	0	4	7
19	0	9	4	0	0	0	4	12	6	0	8	7
20	0	10	4	0	0	0	0	11	0	0	8	0
21	9	1	7	0	0	0	15	7	5	0	0	6
22	4	7	3	1	0	0	5	2	6	0	2	6
23	2	5	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0
24	4	8	2	1	0	0	0	0	0	2	0	0
25	4	6	3	0	0	0	0	0	0	5	0	0
26	6	0	1	0	0	0	0	7	1	4	5	4
27	6	8	4	0	0	0	0	8	1	6	5	6
28	8	10	0	0	0	0	1	10	3	5	4	0
29	5	$\geq <$	0	0	0	0	11	12	0	5	2	0
30	0	$\geq \leq$	0	0	0	0	7	12	0	0	1	6
31	6	\geq	0	\geq	0	\geq	9	15	$\geq \leq$	6	\geq	7
1088	114	159	65	38	0	6	58	159	144	93	125	127
12%	15%	24%	9%	5%	0%	1%	8%	21%	20%	13%	17%	17%

Fig. 4.64 - Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 60%:

Zona 2		Fase 4	- EP.315	5.060-00	4 - Nº do	e horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	11	20	12	14	0	6	0	10	24	0	12	0
2	13	15	5	9	0	9	0	7	22	3	12	0
3	10	15	0	10	0	7	0	0	19	7	13	0
4	10	10	0	2	0	3	0	0	17	7	12	1
5	9	15	0	11	0	5	0	6	10	7	12	0
6	6	11	0	4	0	1	0	4	9	8	7	0
7	7	11	0	10	0	10	0	0	16	9	13	5
8	7	0	0	0	0	0	0	0	10	9	9	8
9	6	0	0	0	0	0	9	1	10	7	8	10
10	6	8	0	0	0	0	4	5	8	9	0	10
11	6	0	0	0	0	0	9	10	0	8	8	9
12	0	0	3	0	0	0	0	11	7	6	9	8
13	0	5	4	0	0	0	4	11	9	10	4	12
14	0	4	0	2	0	0	4	12	5	0	7	15
15	4	4	8	3	0	0	2	11	0	8	6	13
16	5	8	8	5	0	0	0	7	0	8	8	13
17	0	10	11	2	0	0	4	13	0	0	8	11
18	0	11	11	2	0	0	7	16	0	0	9	9
19	0	13	8	7	0	0	9	15	9	2	10	12
20	2	15	8	2	3	0	9	14	0	0	12	2
21	11	8	10	6	3	0	16	11	8	0	1	8
22	8	10	8	7	2	0	15	9	9	5	5	10
23	6	7	0	9	2	0	6	7	0	0	0	2
24	7	11	7	8	0	0	0	0	0	5	0	4
25	7	9	7	6	0	0	3	6	0	7	4	4
26	9	5	5	0	0	0	5	10	5	8	8	6
27	9	11	9	0	0	0	7	10	5	9	7	10
28	10	13	7	0	0	0	8	14	9	8	7	2
29	9	$\geq \leq$	0	0	0	0	14	14	7	7	5	4
30	0	$\geq \leq$	0	6	0	0	10	15	0	6	4	9
31	8	\geq	3		0	\geq	11	16	$\geq \leq$	8		9
1981	186	249	134	125	10	41	156	265	218	171	220	206
23%	25%	37%	18%	17%	1%	6%	21%	36%	30%	23%	31%	28%

Fig. 4.65 - Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 60%:

Zona 3		Fase 4	- EP.315	5.060-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	a del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	5	4	7	8	0	0	0	8	24	0	7	0
2	6	9	0	4	0	0	0	0	21	0	7	0
3	1	11	0	0	0	0	0	0	17	5	7	0
4	3	5	0	0	0	0	0	0	15	2	6	0
5	2	7	0	6	0	0	0	0	2	4	7	0
6	1	4	0	0	0	0	0	0	5	2	0	0
7	1	2	0	0	0	0	0	0	14	4	8	0
8	2	0	0	0	0	0	0	0	8	5	5	4
9	0	0	0	0	0	0	4	0	8	2	0	4
10	0	2	0	0	0	0	0	0	6	5	0	5
11	0	0	0	0	0	0	0	3	0	5	5	4
12	0	0	0	0	0	0	0	8	4	1	6	0
13	0	0	0	0	0	0	0	8	6	6	0	5
14	0	0	0	0	0	0	0	10	0	0	0	5
15	0	0	4	0	0	0	0	9	0	4	0	7
16	0	2	3	0	0	0	0	4	0	3	3	6
17	0	6	4	0	0	0	0	11	0	0	4	5
18	0	7	8	0	0	0	1	16	0	0	3	5
19	0	8	3	0	0	0	8	13	6	0	6	5
20	0	7	1	0	0	0	5	12	0	0	8	0
21	6	0	4	0	0	0	16	8	5	0	0	3
22	2	4	0	0	0	0	11	0	6	0	0	5
23	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	7	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0
25	0	4	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0
26	2	0	0	0	0	0	0	7	1	2	3	0
27	5	6	2	0	0	0	0	9	1	4	3	5
28	6	9	0	0	0	0	0	10	3	3	3	0
29	0	$\geq \leq$	0	0	0	0	11	14	0	3	0	0
30	0	$\geq \leq$	0	0	0	0	7	14	0	0	0	5
31	3	\times	0	\times	0	\times	9	16	\geq	5	\times	6
849	45	105	36	19	0	0	72	180	152	70	91	79
10%	6%	16%	5%	3%	0%	0%	10%	24%	21%	9%	13%	11%

Fig. 4.66 - Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 1		Fase 4	- EP.315	.080-00	4 - Nº d€	horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	Confort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	4	10	0	10	11	14	22	0	0	0
2	0	2	0	7	0	14	2	9	19	0	0	0
3	0	7	0	5	5	13	0	0	16	4	0	0
4	0	0	0	0	0	11	8	0	15	0	0	0
5	0	2	0	12	0	12	11	10	7	1	0	0
6	0	0	0	3	0	11	11	10	9	1	0	0
7	0	0	0	7	0	12	12	0	15	1	0	0
8	0	0	0	0	2	11	0	0	9	0	0	0
9	0	0	0	2	2	11	15	4	11	0	0	0
10	0	0	0	0	9	11	12	7	7	0	0	0
11	0	0	0	0	9	9	13	11	0	1	0	0
12	0	0	0	0	6	9	10	11	8	0	0	0
13	0	0	0	0	0	10	11	12	9	2	0	0
14	0	0	0	5	0	0	10	14	0	0	0	0
15	0	0	3	7	4	4	10	13	0	0	0	0
16	0	0	3	8	8	9	10	7	0	0	0	0
17	0	1	6	3	10	5	11	14	0	0	0	0
18	0	1	9	5	2	0	11	17	0	0	0	0
19	0	3	1	8	9	0	14	15	7	0	0	0
20	0	1	2	6	11	7	13	15	0	0	0	0
21	0	0	3	10	11	10	17	12	7	0	0	0
22	0	0	3	9	11	9	16	10	7	0	0	0
23	0	0	0	10	11	0	10	10	0	0	0	0
24	0	0	4	9	9	11	0	0	0	0	0	0
25	0	0	3	9	0	10	9	7	0	0	0	0
26	0	0	2	9	0	1	11	11	1	0	0	0
27	0	2	7	0	0	8	10	11	0	0	0	0
28	0	2	3	4	0	10	14	15	2	0	0	0
29	0	$\geq \leq$	0	3	7	9	15	14	1	0	0	0
30	0	$\geq $	0	10	9	11	15	15	0	0	0	0
31	0	\geq	0	\geq	8	\geq	15	16	$\geq \leq$	0	\geq	0
1439	0	21	53	161	143	248	327	304	172	10	0	0
16%	0%	3%	7%	22%	19%	34%	44%	41%	24%	1%	0%	0%

Fig. 4.67 - Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 2		Fase 4	- EP.315	.080-00	4 - Nº de	horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	7	14	0	14	13	15	24	0	4	0
2	0	9	0	10	9	16	11	13	22	1	2	0
3	0	9	0	11	10	17	0	0	20	8	6	0
4	0	0	0	5	4	16	10	4	18	6	5	0
5	0	7	0	13	0	14	13	12	13	7	6	0
6	0	0	0	9	0	15	13	12	12	7	0	0
7	0	0	0	13	2	18	14	0	17	7	7	0
8	0	0	0	0	8	13	8	0	12	6	1	0
9	0	0	0	7	9	14	15	10	12	1	0	0
10	0	0	0	0	10	13	14	9	9	5	0	0
11	0	0	0	5	11	11	16	13	2	5	1	0
12	0	0	0	0	10	11	13	14	10	0	0	0
13	0	0	2	2	3	12	15	15	12	7	0	0
14	0	0	0	8	0	0	14	15	7	0	0	0
15	0	0	8	9	11	9	13	16	7	3	0	0
16	0	0	7	10	10	13	13	11	0	2	0	0
17	0	7	9	10	11	10	15	16	0	0	0	0
18	0	8	10	10	10	0	14	17	0	0	0	0
19	0	9	7	11	13	0	15	18	9	0	0	0
20	0	7	6	10	16	9	15	16	0	0	0	0
21	3	0	9	13	15	13	17	15	9	0	0	0
22	0	5	8	12	14	13	21	12	9	0	0	0
23	0	0	0	13	14	8	14	13	0	0	0	0
24	0	4	9	12	13	12	2	3	0	0	0	0
25	0	0	9	11	10	13	11	11	0	1	0	0
26	0	0	5	11	0	10	13	15	6	0	0	0
27	0	7	9	7	0	11	15	15	5	1	0	0
28	1	8	8	9	0	12	14	17	7	0	0	0
29	0	\sim	0	9	9	11	17	15	8	0	0	0
30	0	\sim	0	12	11	12	16	17	0	0	0	0
31	0	\geq	4	\geq	11	\geq	17	18	\geq	0	\geq	0
2188	4	80	117	266	244	340	411	377	250	67	32	0
25%	1%	12%	16%	37%	33%	47%	55%	51%	35%	9%	4%	0%

Fig. 4.68 - Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 3		Fase 4	- EP.315	.080-00	4 - Nº d€	horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	Confort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	0	0	4	10	0	10	11	15	24	0	1	0
2	0	2	0	8	0	15	9	12	21	0	0	0
3	0	7	0	6	8	14	0	0	18	6	1	0
4	0	0	0	0	0	14	9	0	17	0	0	0
5	0	1	0	12	0	13	11	11	8	4	0	0
6	0	0	0	3	0	12	12	12	10	1	0	0
7	0	0	0	10	1	13	13	0	15	1	1	0
8	0	0	0	0	3	12	3	0	11	0	0	0
9	0	0	0	4	3	12	15	8	12	0	0	0
10	0	0	0	0	9	11	13	8	8	1	0	0
11	0	0	0	0	9	9	15	12	0	2	0	0
12	0	0	0	0	8	9	10	14	8	0	0	0
13	0	0	0	0	1	10	12	14	11	3	0	0
14	0	0	0	6	0	0	10	15	1	0	0	0
15	0	0	4	7	6	9	11	15	0	1	0	0
16	0	0	3	9	8	10	12	9	0	0	0	0
17	0	1	6	6	10	10	12	15	0	0	0	0
18	0	1	9	8	2	0	13	17	0	0	0	0
19	0	3	2	10	9	0	15	18	7	0	0	0
20	0	2	3	9	11	8	15	15	0	0	0	0
21	0	0	3	10	13	11	17	12	8	0	0	0
22	0	0	3	9	11	10	20	10	7	0	0	0
23	0	0	0	11	12	2	11	11	0	0	0	0
24	0	0	4	11	11	11	0	0	0	0	0	0
25	0	0	4	9	4	12	10	8	0	0	0	0
26	0	0	2	9	0	9	12	15	4	0	0	0
27	0	2	8	0	0	9	12	14	2	0	0	0
28	0	2	4	4	0	11	14	16	3	0	0	0
29	0	$\geq \leq$	0	3	8	9	17	15	2	0	0	0
30	0	$\geq $	0	10	10	11	15	17	0	0	0	0
31	0	\geq	1	\geq	8	\geq	15	17	$\geq \leq$	0	\geq	0
1644	0	21	60	184	165	286	364	345	197	19	3	0
19%	0%	3%	8%	26%	22%	40%	49%	46%	27%	3%	0%	0%

Fig. 4.69 - Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación SurEste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 1. Orientación Sur. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 1		Fase 5	- EP.000	0.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	a del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	24	24	24	20	0	0	0	2	24	0	24	24
2	24	24	24	18	0	0	0	0	21	7	24	11
3	24	24	24	15	0	0	0	0	19	12	24	9
4	24	24	12	15	0	0	0	0	17	12	24	14
5	24	24	11	14	0	0	0	0	15	14	24	17
6	24	24	13	12	0	0	0	0	12	14	24	15
7	24	24	0	15	0	0	0	0	16	14	24	15
8	24	20	2	0	0	0	0	0	12	15	24	22
9	24	16	0	0	0	0	1	4	9	15	24	24
10	24	14	6	0	0	0	0	5	11	16	21	24
11	24	23	11	0	0	0	0	8	5	17	18	24
12	22	6	13	0	0	0	0	11	7	16	24	24
13	24	14	15	1	0	0	0	9	9	17	24	24
14	13	17	16	3	0	0	0	11	9	12	21	24
15	15	19	14	5	0	0	0	9	6	14	21	24
16	21	19	19	4	0	0	0	6	0	15	24	24
17	24	24	24	3	0	0	0	11	0	12	24	24
18	10	24	24	2	0	0	0	13	0	8	24	24
19	13	24	24	5	0	0	0	12	13	10	24	24
20	14	24	20	4	0	0	0	11	2	12	24	24
21	21	24	20	6	0	0	12	9	12	11	24	24
22	24	24	23	7	0	0	7	6	12	12	22	24
23	24	24	14	6	0	0	1	2	0	12	15	24
24	24	24	13	6	0	0	0	0	4	14	11	24
25	24	24	13	5	0	0	0	7	0	15	15	18
26	24	24	13	1	0	0	0	9	8	18	16	23
27	24	24	15	0	0	0	0	9	10	22	22	24
28	24	24	17	1	0	0	0	11	13	20	24	24
29	24	\sim	10	2	0	0	8	12	14	21	24	24
30	24	$\langle \rangle$	10	3	0	0	2	12	3	16	24	24
31	18	\geq	9	\geq	0	\geq	6	14	$\geq \leq$	17	\geq	24
4192	675	604	453	173	0	0	37	203	283	430	662	672
48%	91%	90%	61%	24%	0%	0%	5%	27%	39%	58%	92%	90%

Fig. 4.70 - Fase 5. Zona 1. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación Sur, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 2. Orientación Sur. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 2		Fase 5	- EP.000	0.080-00	4 - Nº d	e horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	24	24	24	24	0	5	0	7	24	0	24	24
2	24	24	24	24	0	6	0	6	24	12	24	24
3	24	24	24	23	0	4	0	0	24	14	24	20
4	24	24	24	24	0	0	0	0	22	16	24	20
5	24	24	18	22	0	0	0	6	22	17	24	24
6	24	24	19	24	0	0	0	5	17	18	24	24
7	24	24	10	24	0	6	0	0	23	18	24	22
8	24	24	7	9	0	0	0	0	14	22	24	24
9	24	24	0	6	0	0	6	9	14	20	24	24
10	24	21	11	0	0	0	1	9	14	20	24	24
11	24	24	14	1	0	0	1	11	9	21	24	24
12	24	21	16	1	0	0	0	12	12	22	24	24
13	24	16	21	6	0	0	1	12	12	21	24	24
14	22	23	22	7	0	0	1	13	13	23	24	24
15	22	24	22	11	0	0	0	13	12	15	24	24
16	24	24	24	11	0	0	0	12	5	20	24	24
17	24	24	24	11	0	0	0	13	3	17	24	24
18	24	24	24	10	0	0	5	15	6	14	24	24
19	20	24	24	11	3	0	4	18	13	14	24	24
20	21	24	24	12	5	0	5	16	7	15	24	24
21	24	24	24	12	5	0	13	12	14	15	24	24
22	24	24	24	12	0	0	14	11	15	14	24	24
23	24	24	24	12	0	0	8	8	1	15	24	24
24	24	24	17	12	0	0	0	6	10	17	19	24
25	24	24	19	12	0	0	4	11	3	23	20	24
26	24	24	20	8	0	0	2	12	12	24	24	24
27	24	24	24	7	0	0	4	13	12	24	24	24
28	24	24	24	9	0	0	6	13	14	24	24	24
29	24	$\geq \leq$	19	11	0	0	11	14	18	24	24	24
30	24	$\geq \leq$	18	9	0	0	7	15	11	24	24	24
31	24	$\geq \leq$	18	$\geq \leq$	0	$\geq \leq$	11	17	$\geq \leq$	24	$\geq \leq$	24
5221	733	657	607	365	13	21	104	309	400	567	711	734
60%	99%	98%	82%	51%	2%	3%	14%	42%	56%	76%	99%	99%

Fig. 4.71 - Fase 5. Zona 2. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación Sur, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 3. Orientación Sur. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 3		Fase 5	- EP.000	0.080-00	4 - Nº d	e horas p	or encin	na del lím	nite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	24	24	24	21	0	0	0	6	24	0	24	24
2	24	24	24	19	0	1	0	5	24	8	24	13
3	24	24	24	16	0	0	0	0	23	12	24	9
4	24	24	15	16	0	0	0	0	19	14	24	14
5	24	24	13	14	0	0	0	5	18	14	24	17
6	24	24	13	17	0	0	0	3	14	14	24	16
7	24	24	1	18	0	2	0	0	19	15	24	16
8	24	20	2	4	0	0	0	0	14	17	24	24
9	24	16	0	0	0	0	4	6	12	17	24	24
10	24	14	6	0	0	0	0	6	12	17	22	24
11	24	24	12	0	0	0	0	11	7	18	20	24
12	22	7	13	0	0	0	0	11	10	18	24	24
13	23	14	16	4	0	0	0	11	12	19	24	24
14	13	17	17	5	0	0	0	12	11	16	24	24
15	15	19	16	5	0	0	0	11	8	14	24	24
16	22	19	21	5	0	0	0	10	2	16	24	24
17	24	24	24	6	0	0	0	13	0	14	24	24
18	12	24	24	3	0	0	1	14	1	9	24	24
19	13	24	24	6	0	0	4	16	13	13	24	24
20	15	24	21	7	0	0	2	13	3	13	24	24
21	21	24	22	9	0	0	13	12	12	12	24	24
22	24	24	24	10	0	0	14	8	14	12	24	24
23	24	24	17	8	0	0	5	5	0	12	18	24
24	24	24	13	8	0	0	0	4	5	15	13	24
25	24	24	14	6	0	0	0	10	0	15	15	19
26	24	24	14	2	0	0	0	11	10	20	17	24
27	24	24	16	0	0	0	0	12	12	24	24	24
28	24	24	19	3	0	0	4	12	13	21	24	24
29	24	$\geq \leq$	15	2	0	0	11	13	15	22	24	24
30	24	\approx	10	4	0	0	5	14	5	18	24	24
31	19	> <	9	\geq	0	\geq	8	16	\geq	17	\geq	24
4489	679	606	483	218	0	3	71	270	332	466	681	680
51%	91%	90%	65%	30%	0%	0%	10%	36%	46%	63%	95%	91%

Fig. 4.72 - Fase 5. Zona 3. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación Sur, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 1. Orientación SurOeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 1		Fase 5	- EP.045	.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	18	24	20	18	0	7	6	11	24	0	19	5
2	17	18	20	18	5	10	4	9	24	5	22	3
3	19	17	12	12	5	10	1	0	23	10	18	4
4	15	15	1	14	5	9	6	0	18	11	19	8
5	18	24	6	13	0	7	8	9	21	11	18	8
6	17	15	7	17	4	9	5	9	12	12	16	5
7	13	13	0	15	5	13	9	0	15	12	15	10
8	13	4	2	1	7	6	2	0	13	13	14	12
9	14	0	0	0	7	8	10	9	11	13	15	14
10	14	11	5	0	6	7	7	9	11	12	8	14
11	11	3	7	0	8	5	9	11	3	13	12	15
12	8	0	11	1	4	5	9	12	6	13	13	17
13	0	10	10	7	5	7	9	11	9	12	14	13
14	4	9	8	8	5	0	9	13	10	0	12	16
15	10	6	11	10	4	3	9	13	8	10	12	18
16	11	11	13	9	8	5	9	13	2	10	13	18
17	2	12	17	10	8	0	9	11	0	10	15	18
18	0	15	21	10	9	0	11	15	0	5	14	17
19	2	15	20	11	10	0	10	20	10	5	18	16
20	10	17	16	9	11	3	10	16	0	6	19	19
21	12	20	15	10	12	4	14	12	9	7	18	12
22	15	11	14	9	10	4	18	11	10	8	7	14
23	15	15	6	10	8	0	10	7	0	10	0	14
24	12	12	10	12	7	6	2	8	0	10	2	7
25	11	18	10	12	4	5	3	11	0	10	6	9
26	14	18	12	7	4	4	6	11	4	11	10	11
27	16	18	13	4	0	3	9	14	5	13	11	14
28	17	19	14	7	2	5	10	12	10	14	13	12
29	17	$\geq \leq$	11	9	0	6	12	13	8	11	14	11
30	11	$\geq \leq$	9	9	5	6	12	14	0	10	9	12
31	11	\geq	7	\geq	1	\geq	11	15	$\geq \leq$	12	\geq	14
3582	367	370	328	272	169	157	259	319	266	299	396	380
41%	49%	55%	44%	38%	23%	22%	35%	43%	37%	40%	55%	51%

Fig. 4.73 - Fase 5. Zona 1. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación SurOeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 2. Orientación SurOeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 2		Fase 5	- EP.045	.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	a del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	24	24	24	24	4	16	10	16	24	0	24	18
2	24	24	24	24	8	14	9	15	24	7	24	9
3	24	24	22	19	9	14	6	5	24	11	24	8
4	23	19	14	22	10	13	9	4	24	12	24	12
5	24	24	11	22	2	13	10	10	24	13	24	12
6	24	24	11	24	7	12	10	11	17	15	24	12
7	19	20	1	24	9	24	11	0	24	15	24	12
8	18	13	5	8	10	9	13	3	18	17	22	15
9	22	3	0	0	10	10	11	10	17	17	24	20
10	23	11	8	0	10	12	12	14	13	16	18	20
11	16	11	11	0	12	12	11	12	12	16	16	22
12	16	3	11	3	11	10	11	16	10	16	18	24
13	6	11	15	10	9	10	11	15	11	16	21	19
14	8	12	16	11	11	2	10	18	13	14	18	24
15	11	14	13	11	11	7	13	19	12	12	18	24
16	14	12	18	15	11	9	12	19	7	14	19	24
17	14	17	24	14	12	5	13	14	4	12	21	24
18	3	19	24	15	12	0	13	22	0	8	24	24
19	7	20	24	15	13	0	14	24	11	9	24	24
20	11	24	24	16	17	6	13	22	5	10	24	24
21	14	24	23	16	22	8	20	18	11	11	24	18
22	23	17	24	16	13	8	23	16	12	11	17	24
23	24	24	23	14	14	5	16	13	1	11	4	24
24	18	17	11	17	13	9	11	10	5	12	7	16
25	17	24	14	18	13	9	8	12	1	12	9	12
26	24	24	16	19	9	7	9	14	7	15	12	14
27	24	24	24	13	0	7	11	19	9	18	15	18
28	24	24	24	10	5	9	11	18	11	18	19	20
29	24	> <	19	11	4	10	16	17	14	17	19	21
30	24		18	15	7	10	17	19	5	13	19	16
31	13		17		5		16	20	\geq	14		21
5341	560	507	513	426	303	280	380	445	370	402	580	575
61%	75%	75%	69%	59%	41%	39%	51%	60%	51%	54%	81%	77%

Fig. 4.74 - Fase 5. Zona 2. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación SurOeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 3. Orientación SurOeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 3		Fase 5	- EP.045	.080-00	4 - Nº do	horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	18	24	24	19	0	11	7	14	24	0	20	6
2	17	19	24	19	5	10	6	12	24	5	24	3
3	19	17	14	14	7	11	4	0	24	10	20	4
4	15	16	1	15	8	10	6	2	22	11	21	8
5	17	24	6	13	0	7	9	9	23	12	20	8
6	17	14	7	18	5	10	8	9	13	12	17	7
7	13	13	0	19	5	15	9	0	22	13	16	11
8	13	4	2	3	8	9	6	0	15	14	15	12
9	15	0	0	0	9	10	10	10	14	13	18	14
10	15	10	5	0	8	9	10	10	12	13	11	14
11	11	3	7	0	9	7	9	11	8	13	12	16
12	8	0	11	2	5	7	9	13	8	14	15	18
13	0	10	12	8	6	9	9	13	10	13	16	13
14	4	9	10	9	7	0	9	16	11	3	13	16
15	10	5	11	10	4	4	10	16	10	11	13	19
16	11	11	15	12	8	7	9	17	2	11	14	18
17	2	12	18	10	9	2	10	12	0	10	16	18
18	0	15	24	11	9	0	11	20	0	5	16	18
19	2	15	23	12	10	0	11	23	11	6	19	17
20	10	19	17	12	11	5	11	18	2	7	23	21
21	12	21	15	11	14	6	18	16	9	8	24	13
22	16	12	15	11	10	6	22	14	11	9	9	14
23	16	16	7	12	11	0	12	8	0	10	0	16
24	12	12	10	13	10	7	4	9	2	11	2	7
25	11	19	11	13	5	6	5	11	0	11	6	9
26	14	20	12	11	5	5	8	11	5	12	11	11
27	17	19	13	5	0	5	9	17	7	13	13	14
28	17	24	16	7	3	6	11	14	11	14	16	12
29	18	$\geq \leq$	13	9	2	7	14	15	11	12	14	13
30	13	$\geq \leq$	12	10	5	7	15	17	2	12	10	12
31	11	$\geq \leq$	12	\geq	3	$\geq \leq$	13	17	$\geq \leq$	12	\geq	15
3983	374	383	367	308	201	198	304	374	313	320	444	397
45%	50%	57%	49%	43%	27%	28%	41%	50%	43%	43%	62%	53%

Fig. 4.75 - Fase 5. Zona 3. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación SurOeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 1. Orientación Oeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 1		Fase 5	- EP.090	0.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	na del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	4	24	14	22	5	21	19	18	24	0	12	0
2	4	11	13	21	10	21	12	16	24	3	13	0
3	4	10	9	15	10	21	9	4	24	9	10	0
4	4	10	0	18	11	19	10	5	19	9	12	1
5	4	14	3	15	7	24	11	10	23	9	10	1
6	1	6	5	24	7	17	22	10	11	9	0	2
7	2	7	0	24	9	24	13	0	20	10	10	0
8	4	0	2	2	10	15	18	2	14	9	6	3
9	3	0	0	0	13	20	11	10	13	9	2	4
10	0	5	5	0	12	24	17	13	11	9	2	4
11	3	0	5	0	15	24	11	11	4	9	4	4
12	0	0	9	3	16	16	14	15	6	9	5	1
13	0	4	9	9	11	15	14	14	9	9	2	3
14	0	3	6	10	13	10	13	18	10	0	3	5
15	2	0	9	10	14	10	16	18	9	7	4	5
16	2	6	11	15	14	12	16	18	2	4	5	5
17	0	9	13	13	15	13	19	11	0	3	4	5
18	0	10	17	16	16	0	17	21	0	0	5	4
19	0	9	16	17	19	0	17	24	8	0	6	6
20	3	10	13	17	22	8	17	20	0	3	8	2
21	7	4	12	16	24	9	24	17	6	1	0	3
22	6	9	12	15	17	9	24	15	9	3	0	4
23	3	5	5	14	23	8	16	11	0	6	0	0
24	3	10	9	19	22	10	10	10	0	6	0	0
25	3	11	10	19	19	11	6	11	0	5	2	0
26	6	12	11	21	14	9	9	12	0	5	3	2
27	7	14	13	13	9	12	10	18	1	10	3	0
28	6	13	15	10	9	12	11	16	8	6	4	2
29	6	$\geq \leq$	12	10	5	15	17	16	5	3	2	0
30	0	\sim	11	16	10	18	18	16	0	5	0	3
31	6		12	\geq	10		17	16		6	\geq	4
3352	93	216	281	404	411	427	458	416	260	176	137	73
38%	13%	32%	38%	56%	55%	59%	62%	56%	36%	24%	19%	10%

Fig. 4.76 - Fase 5. Zona 1. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 1, con orientación Oeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 2. Orientación Oeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 2		Fase 5	- EP.090	0.080-00	4 - Nº de	horas p	or encim	a del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	8	24	24	24	19	24	24	24	24	0	20	5
2	10	20	24	24	13	24	19	23	24	4	23	3
3	8	17	17	24	21	24	17	16	24	9	19	3
4	9	13	12	24	21	24	11	11	24	11	20	4
5	10	24	8	24	24	24	19	12	24	11	17	4
6	5	13	10	24	13	24	24	15	19	13	12	4
7	7	10	0	24	13	24	24	11	24	13	15	3
8	8	0	5	20	19	24	24	7	19	14	13	7
9	8	0	0	1	24	24	13	10	19	13	11	10
10	4	8	9	3	20	24	22	17	16	11	7	8
11	6	1	10	0	24	24	16	16	16	12	10	10
12	0	0	10	8	24	24	21	22	10	12	10	5
13	0	7	13	10	22	24	22	20	11	11	8	8
14	0	7	16	15	24	23	24	24	13	3	8	10
15	4	3	11	17	24	18	24	24	15	9	10	10
16	5	10	18	24	24	23	24	24	8	9	10	11
17	0	10	24	24	24	24	24	18	6	7	11	11
18	0	12	24	24	24	7	22	24	0	3	10	11
19	0	12	24	24	24	2	23	24	10	3	13	10
20	6	16	24	24	24	10	24	24	3	6	14	8
21	10	20	21	24	24	11	24	23	9	6	10	6
22	11	10	24	24	24	12	24	22	11	6	2	10
23	9	15	24	24	24	13	23	19	0	9	0	3
24	6	11	10	24	24	11	20	11	0	9	0	2
25	8	19	15	24	24	21	12	16	0	9	2	2
26	10	21	19	24	24	21	10	18	5	10	4	5
27	11	24	24	24	24	24	13	24	5	12	5	3
28	12	24	24	20	13	24	15	23	10	12	6	5
29	13	$\geq \leq$	24	16	16	24	24	21	11	8	5	4
30	7	$\geq \leq$	23	24	10	24	24	23	4	9	1	7
31	10	$\geq \leq$	24	$\geq \leq$	24	$\geq \leq$	24	23	$\geq \leq$	10	\geq	9
5279	205	351	515	590	656	604	634	589	364	274	296	201
60%	28%	52%	69%	82%	88%	84%	85%	79%	51%	37%	41%	27%

Fig. 4.77 - Fase 5. Zona 2. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 2, con orientación Oeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

• Fase 5. Zona 3. Orientación Oeste. Relación Hueco/Muro 80%:

Zona 3		Fase 5	- EP.090	0.080-00	4 - Nº de	e horas p	or encim	a del lím	ite supe	rior de C	onfort	
Día	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
1	4	24	16	24	7	24	22	22	24	0	14	0
2	4	12	16	24	10	24	14	19	24	3	13	0
3	3	10	10	16	13	24	11	11	24	9	12	0
4	4	10	0	19	15	24	10	7	23	9	12	2
5	4	14	4	16	19	24	12	11	24	10	11	2
6	1	6	5	24	10	24	24	13	15	11	1	2
7	2	7	0	24	10	24	20	1	24	11	10	0
8	4	0	2	5	12	19	20	4	18	11	8	3
9	3	0	0	0	16	24	11	10	17	9	2	4
10	0	5	5	0	14	24	21	14	13	10	2	4
11	3	0	5	0	20	24	13	13	9	9	5	4
12	0	0	9	4	20	22	17	17	9	9	7	1
13	0	4	9	9	14	22	17	17	10	9	3	4
14	0	3	7	11	17	18	18	22	11	0	4	5
15	2	0	10	11	15	10	20	23	10	8	4	6
16	2	6	12	19	15	14	22	23	3	6	6	5
17	0	9	15	17	16	19	21	15	2	4	5	5
18	0	9	20	19	19	0	18	24	0	0	7	4
19	0	9	19	19	20	0	20	24	10	1	8	6
20	3	10	15	21	24	10	21	23	0	3	10	2
21	7	5	12	19	24	10	24	20	9	3	2	3
22	7	9	13	19	24	10	24	18	9	3	0	4
23	4	6	6	18	24	10	20	14	0	7	0	0
24	3	10	9	22	24	10	14	10	0	7	0	0
25	4	12	10	24	24	13	8	14	0	6	2	0
26	6	13	12	23	23	11	10	15	3	7	3	2
27	7	15	15	16	16	15	11	21	3	10	4	0
28	6	16	21	12	10	15	12	18	8	8	4	2
29	7		13	10	7	22	22	18	8	5	3	0
30	0	$\geq \leq$	12	18	10	24	21	20	0	7	0	4
31	6		13	$\geq \leq$	15	$\geq \leq$	20	20	$\geq \leq$	8		4
3911	96	224	315	463	507	514	538	501	310	203	162	78
45%	13%	33%	42%	64%	68%	71%	72%	67%	43%	27%	23%	10%

Fig. 4.78 - Fase 5. Zona 3. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.

Como se observa en la gráfica anterior, en la Zona 3, con orientación Oeste, en un porcentaje muy alto de días del año el ambiente interior se encuentra sometido a condiciones de sobrecalentamiento, ya que la temperatura operativa del aire interior se encuentra por encima del límite superior de la zona de confort adaptativo.

Por todo lo anteriormente expuesto, se puede concluir que las circunstancias de disconfort térmico del ambiente interior, en las tres Zonas Térmicas, obedecen al sobrecalentamiento de su aire.

A partir del examen de las condiciones reseñadas anteriormente, se deduce que las condiciones de mejora del sobrecalentamiento del aire interior de las zonas térmicas pasan, necesariamente, por la optimización de forma simultánea de dos variables; una de ellas debe ir orientada a la mejoría del sombreamiento de la superficie del vidrio, mientras que la otra debe ir orientada al ajuste de las prestaciones del caudal de la ventilación de confort.

4.5.8.-Fase 6.- Mejora Factor de sombra del dispositivo móvil de protección solar:

A partir del análisis realizado en el apartado anterior, en la Fase 6 se realizarán las siguientes simulaciones paramétricas:

- Se seleccionan los ficheros de simulación de la Fase 4, correspondiente a la orientación SurEste, para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 60%; y para las orientaciones Este y SurEste, para un porcentaje de relación Hueco/Muro del 80%.
- Se seleccionan los ficheros de simulación de la Fase 5, en todas las orientaciones y para una relación Hueco/Muro del 80%.
- Con el objetivo de calibrar la transmitancia térmica límite de la cubierta,
 en los ficheros de simulación, se agrega la variable paramétrica

"\$EspAT_Q" que, mediante el control del espesor del aislamiento térmico, establece los siguientes valores de transmitancia térmica límite de la cubierta: 0,85 W/m²·K, 0,70 W/m²·K, 0,60 W/m²·K y 0,50 W/m²·K.

 Se modifica el Factor de sombra del dispositivo móvil de protección solar, disponiendo los valores de 0,2, 0,1 y 0,0001 en la variable paramétrica "\$PersianaBajada".

De las 2.592 simulaciones inicialmente existentes en esta sexta Fase, superan los requisitos, sin aplicar filtrado en las orientaciones, un 35,07% del total (909 simulaciones).

Por orientaciones se obtienen los siguientes resultados:

Orientación Sur:

Un 5,01% (130 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación Sur.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
							,	
SUR	80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
	80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.31- Fase 6. Resultados de la orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación SurOeste:

Un 3,40% (88 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurOeste.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	Uн Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
0	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
SO	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.32 - Fase 6. Resultados de la orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Oeste:

Un 3,32% (86 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación Oeste.

	Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
		000/	0.40	2.20	1.25	0.60	0.74	0.60	20,400
(0	80% 80%	0,10 0,10	3,20	1,35 1,35	0,60	0,74 0,74	0,60	26.400 2.600

Tabla 4.33 -Fase 6. Resultados de la orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación NorOeste:

Un 2,24% (58 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación NorOeste.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
O	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
NO NO	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.34 -Fase 6. Resultados de la orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Norte:

Un 2,62% (68 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación Norte.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	Uн Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
Z	80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.35 -Fase 6. Resultados de la orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Orientación NorEste:

Un 2,58% (67 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación NorEste.

Orient.		% Hueco	Factor de Sombra	U _н Hueco	U _M Fachada	U o Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
ш		80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
Z	R	80%	0,20	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.36 -Fase 6. Resultados de la orientación NorEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

Fuente: Elaboración propia.

Orientación Este:

Un 4,67% (108 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 80%, y se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación Este.

Orion4	Olelli.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
		80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
Ц	Ш	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.37 -Fase 6. Resultados de la orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.

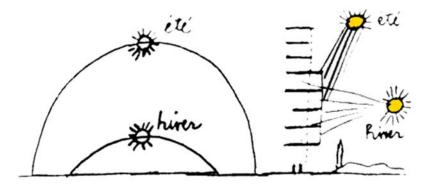
• Orientación SurEste:

Un 7,41% (192 simulaciones) superan los requisitos establecidos para una relación Hueco/Muro del 60%, mientras que para una relación Hueco/Muro del 80% lo supera un 4,32% (112 simulaciones). En ambos casos se obtienen resultados satisfactorios con parámetros característicos de la envolvente térmica moderados.

En la siguiente Tabla se exponen los resultados obtenidos para la orientación SurEste.

Orient.	% Hueco	Factor de Sombra	U _H Hueco	U _M Fachada	U _Q Cubierta	F _H Hueco	Caudal Infiltrac.	Capacidad Térmica Suelo int.
	60%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,73	0,60	26.400
SE	60%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,73	0,60	2.600
S	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	26.400
	80%	0,10	3,20	1,35	0,60	0,74	0,60	2.600

Tabla 4.38 -Fase 6. Resultados de la orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.



Le mouvement apparent du soleil suivant les saisons Le Corbusier

Capítulo 5 - CONCLUSIONES Y NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN

5.- CONCLUSIONES

Mediante la presente investigación hemos podido demostrar que implementando estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático es posible proyectar y construir, mediante la aplicación del modelo de confort adaptativo, edificios residenciales de energía casi nula (nZEB), en regiones con clima desértico cálido, en especial en las costas de las Islas Canarias,.

Este objetivo ha sido posible al haberse analizado, mediante simulación energética, el comportamiento térmico de tres recintos habitables que se han configurado como un volumen construido que simula a un edificio entre medianeras. Las características térmicas de la envolvente y sistemas constructivos de estos recintos se han generado a partir de la combinación de una serie de estrategias de diseño pasivo (orientación, ventilación, velocidad del aire, protecciones solares, etc...) tendentes, todas ellas, a evitar el sobrecalentamiento del aire interior de estos espacios.



Fig. 5.1.- Imagen 3D de los tres recintos habitables superpuestos, que se han configurado como un volumen construido que simula a un edificio entre medianeras.

La metodología seguida en este trabajo de investigación, que ha sido expuesta en el Capítulo 4, ha facilitado la detección de aquellas pautas proyectuales cuya influencia resulta determinante a la hora de evaluar el balance térmico de los locales habitables, en relación al confort térmico de sus ocupantes, mediante la aplicación del modelo de confort adaptativo (escuela cuantitativa).

Todo ello implica el poder aportar, al campo del conocimiento, nuevas vías de investigación tendentes al estudio de la alta eficiencia energética y su aplicación a edificios residenciales ubicados en regiones con clima desértico cálido.

La información originada en el presente trabajo de investigación trata de aportar ideas y mecanismos para que la administración pública, en cualquiera de sus tres niveles administrativos (estatal, autonómico y local), pueda promover estudios conducentes a la reforma de la normativa de Ahorro de Energía y Eficiencias Energética, que permitan reformular las exigencias en relación al consumo, la calificación y la demanda energética de los edificios ubicados en las costas de las Islas Canarias.

5.1.- CONCLUSIÓN DE CARÁCTER GENERAL:

En base a nuestra investigación, entendemos que se debería tener en cuenta la necesaria modificación de la tabla que figura en el apartado D.2.3 Zona climática α3, del Apéndice D del Documento Básico HE 1, versión 2013.

En la siguiente tabla, se establece la síntesis de los parámetros característicos de la envolvente térmica que se han elaborado a partir del estudio y análisis de los resultados alcanzados en las simulaciones energéticas que se han descrito en el capítulo 4. La síntesis se realiza para cada orientación y porcentaje de relación "Hueco/Muro":

Zona Climática α3

• Transmitancia límite de muros de fachada: U_{M,lim} = 1,35 W/ m²·K

• Transmitancia límite de suelos⁽¹⁾ U_{S,lim} = 0,53 W/m²·K

• Transmitancia límite de cubiertas: U_{Q,lim} = 0,60 W/ m²·K

• Factor solar modificado límite de lucernarios⁽¹⁾ F_{Llim} = 0,29

• Transmitancia límite de huecos (U_{H,lim}):

% de huecos	N/NE/NO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 20	5,70	5,70	5,70	5,70
de 21 a 40	5,70	5,70	5,70	5,70
de 41 a 60	0,32	0,32	0,32	0,32
de 61 a 80	0,32	0,32	0,32	0,32

• Factor solar modificado límite de huecos (FH,lim) Baja carga interna:

% de huecos	NE/NO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 20	0,70	0,70	0,70	0,70
de 21 a 40	0,70	0,70	0,70	0,70
de 41 a 60	0,70	0,70	0,70	0,70
de 61 a 80	0,70	0,70	0,70	0,70

Tanto los valores de los parámetros característicos de la envolvente térmica, como los del Factor solar modificado límite de los huecos, que se han enunciado en el apartado anterior, se han visto condicionado en las simulaciones energéticas, por otras estrategias de diseño bioclimático que son complementarias a ellas.

Por tanto, para alcanzar el objetivo de **edificios de energía casi nula** (nZEB), los recintos habitables, además, deberán contar necesariamente con:

⁽¹⁾ Valores no modificados con respecto a los que figuran en el apartado en el apartado D.2.3 Zona climática α3, del Apéndice D del Documento Básico HE 1, versión 2013.

Un dispositivo de protección solar:

El Factor Solar Modificado Límite (FH,lim) se verá modificado, para cada una de las orientaciones, por el Factor de Sombra (Fs) de los dispositivos de protección solar fijos (voladizos, retranqueos, lamas, etc...) o móviles (persianas enrollables, toldos, screen solar, etc...), según condiciones de adaptación climática de los usuarios.

Por tanto, en la revisión de la normativa se deberá establecer la exigencia de que todos los huecos, además de los dispositivos fijos de protección solar que se consideren necesario, deberán de contar con un **dispositivo móvil de protección solar** que sea de fácil acceso y operable por parte de los usuarios.

Dicho dispositivo deberá ocupar el 100% de la superficie del hueco, y se dispondrá, preferiblemente, el exterior de la carpintería, paralelo al vidrio y separado de él al menos 5 cm.

Un sistema de ventilación de confort:

En los últimos tiempos se está imponiendo el uso de los denominados sistemas de ventilación mixtos (combinación de la ventilación natural y la mecánica), ya que con este tipo de sistemas se logra maximizar las ventajas de cada uno de ellos, reduciéndose al máximo los inconvenientes.

Debido a ello, surge la necesidad de establecer, en el texto normativo, una exigencia en relación a que los edificios de uso residencial dispongan obligatoriamente de un **sistema mecánico de ventilación de confort**. Necesariamente, dicho sistema deberá ser de **doble flujo** (admisión y extracción de aire), de alta eficiencia energética, con velocidad variable y reguladores de caudal de aire.

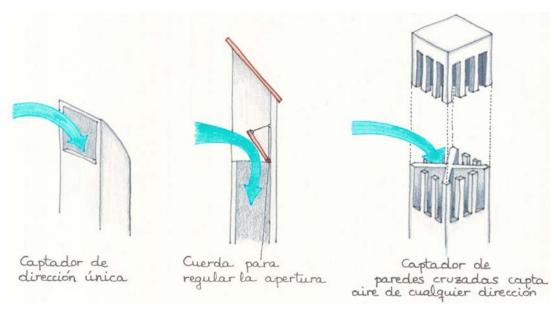


Fig. 5.2.- Dibujo torres captadoras de viento.

Fuente: Mª Dolores García Lasanta. http://abioclimatica.blogspot.com.es/

Además de ello, el referido sistema de ventilación mecánica deberá disponer de un control que permita:

- Configurar un caudal mínimo de 0,63 renov/hora, y un caudal máximo de 4,00 renov/hora
- Combinar cada uno de estos caudales, con velocidades de aire de 0,30 m/s, 0,60 m/s, 90 m/s y 1,20 m/s.
- Establecer una ventilación higiénica, conforme a las exigencias recogidas en el DB HS 3 del CTE 2013, con un caudal mínimo de 0,63 renov/hora, a una velocidad de 0,30 m/s.
- Que los usuarios configuren, en función de sus necesidades de adaptación al ambiente interior, tanto el caudal como la velocidad del aire.
- Un sistema de ACS de alta eficiencia energética con un consumo de energía primaria no renovable menor o igual a 4,00 kWh/m²·año y 1,10 kgco²/m²·año de emisiones de CO².

Como parte de la conclusión que estamos abordando aportamos, a modo de sub-conclusiones de nuestra investigación, lo siguiente:

Los usuarios y su adaptación al clima interior:

El supuesto fundamental del **modelo de confort adaptativo** es que si se produce un cambio en el ambiente que provoca incomodidad, los usuarios reaccionan para restaurar su comodidad, y lo hacen cambiando su ropa, la actividad, la postura, etc., o cambiando su entorno mediante el uso de controles.

Por ello, es fundamental que tanto el sistema de control de la ventilación mecánica, como el dispositivo de protección solar móvil, sean de fácil acceso y permitan ser operados por los usuarios, para que sean ellos los que establezcan, en cada momento, la configuración que mejor se adapte a sus necesidades de confort.

Los proyectistas y las estrategias de arquitectónicas de diseño bioclimático:

Los arquitectos serán los encargados de establecer las estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático que, según las condiciones climáticas del entorno, mejor satisfagan las condiciones de confort en los edificios y, a la vez, permitan alcanzar la más alta calificación energética.

Lo expuesto anteriormente confirma los objetivos señalados y, por ello, estimamos que hemos probado suficientemente que la metodología de trabajo resultante de nuestra investigación es la apropiada para que los edificios que se proyecten en las costas de las Islas Canarias, puedan alcanzar el estándar nZEB (edificios de energía casi nula) sin necesidad de recurrir a sistemas mecánicos de climatización para garantizar el confort térmico de los usuarios.

5.2.- CONCLUSIONES PARTICULARES:

Uno de los resultados que más ha llamado la atención, por imprevisto, ha sido el de los valores de estanqueidad al aire de la envolvente (0,60 renov/hora), con los que se han alcanzado las condiciones de confort.

Quizás sea necesario que, en futuros trabajos, se investigue con mayor profusión acerca del valor óptimo de estanqueidad al aire de la envolvente de los edificios ubicados en las costas de las Islas Canarias y su correlación con la comprobación de la limitación de condensaciones superficiales e intersticiales en los cerramientos.

• CONCLUSIÓN PRIMERA:

En el ámbito científico, y en línea con los objetivos marcados por la Unión Europea, este trabajo de investigación contribuye a la formación del conocimiento en el campo de la arquitectura y la ingeniería, al abrir una nueva perspectiva en el estudio de la alta eficiencia energética de edificios residenciales que se ubiquen en climas desérticos cálidos.

CONCLUSIÓN SEGUNDA:

En el **ámbito profesional de la arquitectura**, este trabajo de investigación aporta al proyectista instrumentos basados en estrategias bioclimáticas, que posibilitan el diseño de edificios nZEB ubicados en climas desérticos cálidos, en especial a aquellos construidos en el litoral de las Islas Canarias.

Como resumen de las estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático de edificios nZEB ubicados en climas desérticos cálidos, podemos destacar, entre otras, las siguientes:

La forma óptima del edificio debe ser prismática, con planta rectangular.

- La orientación óptima se localiza en el arco correspondiente a las orientaciones del SurEste al SurOeste. Preferiblemente se debe optar por la orientación SurEste, aunque también es válida la orientación Sur, siempre que el edificio se disponga con su eje de mayor dimensión en la dirección Este Oeste.
- Deben evitarse superficies con absortancia muy alta, sobre todo en las cubiertas planas. Se sugiere el empleo de colores medios y claros, con absortancia máxima de valor 0,60.
- En nuestra investigación hemos detectado indicios que nos llevan a señalar la necesidad de recomendar que en las orientaciones Este y Oeste la relación "Hueco/Muro" no supure el 60%.
- La velocidad del aire en el interior de los recintos no debe superar, en ningún caso, los 0,90 m/s.
- Se debe favorecer la ventilación cruzada natural, debiendo existir, como apoyo, un sistema de ventilación mecánica de doble flujo, que sea fácilmente operable por los usuarios.
- Los huecos deben disponer de un dispositivo móvil para el control solar.
- En los espacios interiores, y en especial en los suelos, favorecer el uso de materiales con alta capacidad térmica (aislamiento capacitivo).
- Para favorecer la acumulación de calor en la cara interior de los cerramientos, se recomienda disponer el aislamiento térmico por el exterior de la envolvente.

• CONCLUSIÓN TERCERA:

Se ha establecido la necesidad de fomentar cambios en relación con el ámbito de la **reglamentación básica nacional**. En este sentido, en el

presente trabajo de investigación, se ha cimentado el fundamento necesario para que el legislador pueda abordar con garantías la reforma de la normativa estatal en relación a:

- Requerimientos vinculados con la limitación de la demanda energética, ajustando las exigencias relacionadas con los parámetros característicos de transmitancia y factor solar de los elementos de la envolvente térmica.
- Exigencias vinculadas con la calificación de la eficiencia energética de los edificios, en especial eliminando aquellas relacionadas con los sistemas de referencia que tanto el Documento Básico HE-0 "Limitación del consumo energético", como las herramientas oficiales para la Calificación de Eficiencia Energética de Edificios implementan, por defecto, a aquellos edificios en cuyos proyectos no se definen equipos para un servicio de climatización.
- Sustituir, en las zonas geográficas con climas desérticos cálidos, y para aquellos edificios que satisfacen la demanda de refrigeración mediante sistemas pasivos, la exigencia de calidad térmica del ambiente basada en el modelo de confort de Fanger (ISO 7730), por el modelo de confort adaptativo, según lo definido en el Anexo A.2 "Temperaturas interiores aceptables para el diseño de edificios sin sistemas de enfriamiento mecánicos" de la Norma EN 15251.

• CONCLUSIÓN CUARTA:

En el ámbito de la **reglamentación de carácter autonómico**, se han creado los fundamentos necesarios para que el legislador pueda abordar con garantías la creación de una reglamentación que incorpore un procedimiento que permita valorar el grado de sustentabilidad de los proyectos arquitectónicos.

Dicho procedimiento deberá incluir exigencias de evaluación y/o certificación que acrediten el grado de sustentabilidad que deberán alcanzar los edificios residenciales destinados a viviendas, tanto en fase de proyecto de ejecución como en la fase de obra terminada.

CONCLUSIÓN QUINTA:

A nivel de la administración local, esta investigación ha generado información suficiente para que el legislador pueda abordar, con garantías, la elaboración de una Ordenanza Municipal sobre Edificación Bioclimática y Sustentable, en la que se establezcan las exigencias de aquellos factores de diseño pasivo que influyen directamente en la sustentabilidad de la edificación.

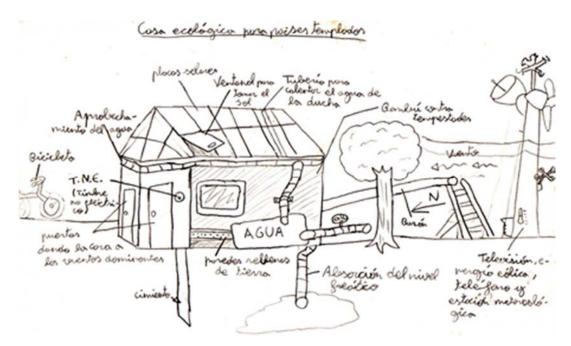


Fig. 5.3.- Dibujo de "Casa ecológica para países templados".

Fuente: Ariel Martín Pérez. 1997. A la edad de 13 años aproximadamente.

5.3.- NUEVAS LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:

La metodología desarrollada en este trabajo de investigación permite explorar futuras líneas de investigación que converjan en la evaluación e impacto, sobre el confort térmico de los recintos habitables de los edificios residenciales ubicados en las costas de las Islas Canarias. Por ello, se considera conveniente sugerir como futuras líneas de investigación, entre otras, a las siguientes materias:

A.- Influencia de la humedad relativa sobre las condiciones de confort interior:

A pesar de que el modelo adaptativo considera que las temperaturas operativas situadas dentro de los límites de confort, engloban la totalidad de las variables y parámetros que inciden sobre el bienestar térmico, dadas las altas tasas de humedad relativa que se alcanzan durante determinadas horas del año, se considera apropiado realizar una investigación relativa a la influencia que esta, en combinación con la temperatura operativa interior, puede tener sobre las condiciones de confort de los usuarios.

B.- Estanqueidad al aire de la envolvente térmica:

Estudio de la optimización de la estanqueidad al aire de la envolvente térmica que garanticen las mejores condiciones de confort térmico, aplicando el modelo de confort adaptativo.

C.- Estudio experimental de campo en relación al modelo de confort adaptativo:

Estudio experimental de campo, consistente en determinar, mediante la medición de diferentes variables del ambiente de viviendas existentes, el grado de satisfacción y factores de adaptación de los usuarios al clima interior. Para ello se realizarán encuestas que permitan obtener resultados

acerca del porcentaje de personas insatisfechas y actuaciones de las mismas para adaptarse al ambiente.

D.- Estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático acordes al modelo de confort adaptativo

A partir del estudio experimental de campo, y en base a la metodología expuesta en el presente trabajo de investigación, establecer estrategias de diseño bioclimático que, basadas en el modelo adaptativo, mejore las condiciones de confort de los usuarios y favorezca el aumento de personas satisfecha, al tiempo que garantice una reducción de los niveles actuales de consumo energético de la vivienda.

E.- Influencia de los lucernarios en las condiciones del ambiente interior:

Estudio de la relación del porcentaje lucernario/cubierta, y su influencia en las condiciones del ambiente interior, evaluando la contribución solar mínima que se requiere en cada mes del año, y para cada geometría de lucernario, para garantizar las condiciones de confort térmico adaptativo, sin necesidad de recurrir a sistemas mecánicos de climatización.

F.- Impacto de los cerramientos ventilados en las condiciones del ambiente interior:

Análisis del impacto de los cerramientos ventilados (fachadas y cubiertas) sobre la temperatura operativa del ambiente interior, considerando diferentes orientaciones y épocas del año.

G.- Impacto de las cubiertas verdes en las condiciones del ambiente interior:

Evaluación de la influencia de una cubierta plana ecológica (cubierta verde) sobre la temperatura operativa del ambiente interior, considerando diferentes épocas del años.

H.- Directrices para abordar la modificación reglamentaria a nivel autonómico y local:

Establecer unas directrices básicas que permita, a los organismos de la administración autónoma y/o local, desarrollar una reglamentación orientada a establecer un sistema de evaluación y/o certificación que acredite el grado de sustentabilidad y/o bioclimatismo de nuevos edificios residenciales destinados a viviendas, ubicados en climas desérticos cálidos, y que permita optimizar la demanda energética hasta alcanzar la categoría nZEB.

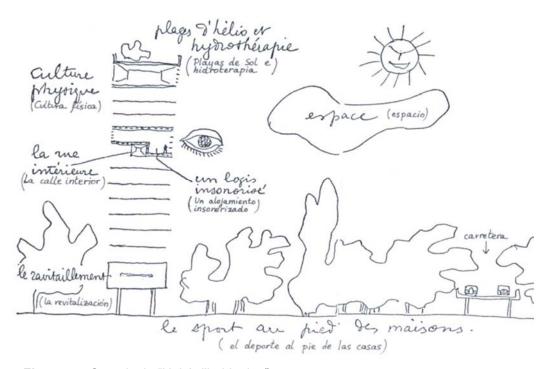
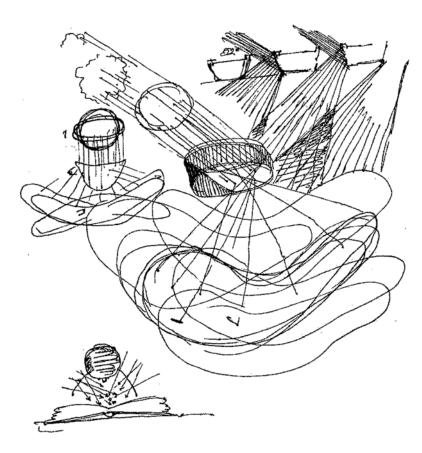


Fig. 5.4.- Croquis de "Unité d'habitation" Fuente: Le Corbusier. 1957.

"Un acontecimiento revolucionario: Sol, espacio, verdor. Si se quiere formar familia en la intimidad, en silencio y cerca de la naturaleza.... Encontraremos la soledad, el silencio y la rapidez e contacto interior-exterior.... Los parques alrededor de las casas.... La ciudad será verde y, en los tejados, los jardines de infancia". (Le Corbusier. 1957)



Alvar Aalto. Biblioteca en Viipuri. Bocetos lucernarios.

CAPÍTULO 6: FUENTES DE INFORMACIÓN. REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS Y NORMATIVAS

6.- FUENTES DE INFORMACIÓN. REFERENCIAS BILIOGRÁFICAS Y NORMATIVAS BIBLIOGRAFÍA

6.1.- BIBLIOGRAFÍA

6.1.1.- Bibliografía fundamental

- [001] Allen, Edward (1982). Cómo Funciona un Edificio. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- [002] Banham, R. (1969). The Architecture of the wall-tempered environment. Londre: The Architectural Press. Versión castellana: La Arquitectura del entorno bien climatizado. (1975). Buenos Aires: Infinito. Traducción de Atilio de Giacomi.
- [003] Bardou, P., Arzoumanian, V. (1980). Sol y arquitectura. Barcelona: G. Gili.
- [004] Bedoya Frutos, C., Neila González, F. J. (1986). Acondicionamiento y energía solar en arquitectura. Madrid: Colegio oficial de Arquitectos de Madrid.
- [005] De Dear, R., Brager, G., Cooper, D. (1997). Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. Final Report ASHRAE RP. Macquarie University, Sydney, NSW 2109 AUSTRALIA.
- [006] De Dear, R. (1999). Human Heat Balance, Atmospheric Science. Macquarie University.
- [007] Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort. New York: McGraw-Hill Book Co.
- [008] González, E., Hinz, E., Oteiza, P., Quirós, C. (1986). Proyecto, clima y arquitectura. 3 tomos. México: Editorial Gustavo Gili, S.A.

- [009] Gonzalo, G. E. (1998). Manual de arquitectura bioclimática. Argentina: Nobuko O'Gorman.
- [010] Guidoni, E. (1979). Architettura primitiva. Aguilar. Milano: Electa.
- [011] Izard, J. L., Guyot, A. (1980). Arquitectura bioclimática. Colección Tecnología y Arquitectura. Barcelona: Editorial Gustavo Gili.
- [012] Koenigsberger, O. H.; Ingersoll, T. G.; Mayhew, A.; Szokolay, S. V. (1977). Viviendas y edificios en zonas cálidas y tropicales. Madrid: Paraninfo.
- [013] Konya, A. (1981). Diseño en climas cálidos. Manual práctico. Madrid: Blume.
- [014] Martín Monroy, M. (2006a). Manual del Calor. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- [015] Neila González, F. J. (2004). Arquitectura Bioclimática en un entorno sostenible. Madrid: Munilla-leria.
- [016] Nicol, F. (1993). Thermal Comfort A Handbook for Fiel Studies Toward an Adaptative Model. London: University of East London.
- [017] Serra Florensa, R., Coch Roura, H. (1991). Arquitectura y Energía Natural. Barcelona: Edicions UPC.
- [018] Yáñez Parareda, G. (2008). Arquitectura solar e iluminación natural. Conceptos, métodos y ejemplos. Madrid: Munilla-leria.
- [019] Yarke, E. (2005). Ventilación natural de edificios. Buenos Aires: Nobuko.

6.1.2.- Bibliografía general

- [020] Bedoya Frutos, C., Neila González, F. J. (1986). Acondicionamiento y energía solar en arquitectura. Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid. Madrid: Servicio de Publicaciones.
- [021] García Arroyo, A. (1983). Bases para el diseño solar pasivo. Equipo de ahorro de energía en la edificación. Madrid: Instituto Eduardo Torroja-C.S.I.C.
- [022] Givoni, B. (1976). Man Climate and Architecture. Londres: Applied Science Publishers.
- [023] Givoni, B. (1998). Climate considerations in building and urban design. New York: John Wiley&Sons.
- [024] Gobierno de España. Dirección General de Arquitectura y Vivienda. Arquitectura y clima en Andalucía (1997). Manual de diseño. Sevilla: Junta de Andalucía Consejería de Obras Públicas.
- [025] Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, (2011). Atlas climático Ibérico. Agencia Estatal de Meteorología. Madrid.
- [026] Gobierno de España. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, (2012). Atlas climático de los Archipiélagos de Canarias, Madeira y Azores. Agencia Estatal de Meteorología. Madrid.
- [027] Gonzalez Sandino, R., López de Asiaín, J. (1994). Análisis Bioclimático de la Arquitectura. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.
- [028] Heras Celemín, M. R., Marco Montoro, J. (1990). Comportamiento energético de edificios solares pasivos. Plan de monitorización del Instituto de Energías renovables. Madrid: CIEMAT

- [029] Laugier, Marc-Antoine (1999). Ensayo sobre la arquitectura. Edición de Lilia Maure Rubio. Trad. de Maysi Veuthey Martínez, Lilia Maure Rubio. Madrid: Akal, D.L. (Traducción del original "Essai sur l'Architecture". Nouvelle édition revue. París, 1755).
- [030] López de Asiaín, J. (1976). Aplicaciones de la energía solar en el habitat. Sistemas pasivos. Sevilla: Escuela Técnica Superior de Arquitectura de Sevilla.
- [031] Luxan, M., Vázquez, M., Muñoz, G., Román, E., Barbero, M. (2009). Actuaciones con criterios de sostenibilidad en la rehabilitación de viviendas en el Centro de Madrid. Madrid: Empresa Municipal de Vivienda y Suelo.
- [032] Martín Monroy, M. (1995). Comportamiento térmico de cerramientos soleados. Las Palmas de Gran Canaria: Departamento de Construcción Arquitectónica. ULPGC.
- [033] Martín Monroy, M. (2006b). Manual de Iluminación Calor. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- [034] Martín Monroy, M. (2006c) Manual del Aire. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- [035] Martín Monroy, M. (2006d). Manual del Ruido. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.

- [036] Martín Monroy, M. (2006e). Guía de aplicación. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- [037] Martín Monroy, M. (2006f). Objetivos. En Manuales de diseño ICARO. Calidad ambiental en la edificación para las Palmas de Gran Canaria. Islas Canarias. Las Palmas de Gran Canaria: Ayuntamiento de Las Palmas de Gran Canaria.
- [038] Olgyay, V. (1998) Arquitectura y clima. Barcelona: Gustavo Gili S.A.
- [039] Paricio Ansuategui, I. (1997) La protección solar. Barcelona: Bisagra.
- [040] Paricio Ansuategui, I. (1986). La construcción de la arquitectura. 3 tomos. Barcelona: Institut de Tecnología de la Construcció de Catalunya (ITC).
- [041] Paricio Ansuategui, I., Pardal, C. (2006). La fachada Ventilada y ligera. Barcelona: Bisagra.
- [042] Proyecto Passive-On. (2007). El estándar Passivhaus en climas europeos cálidos – Una revisión de viviendas de bajo consumo energético confortables. School of the Built Environment, University of Nottingham.
- [043] Ramón Moliner, F. (1980). Ropa, sudor y arquitectura. Madrid: Blume.
- [044] Rykwert, J. (1974). La casa de Adán en el paraíso. Barcelona: Gustavo Gili.
- [045] Sancho Ávila, J. M., Riesco Martín, J., Jiménez Alonso, C., Sánchez de Cos Escuin, Mª C., Montero Cadalso, J., López Bartolomé, M., (2006). Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de Clima de EUMETSAT. Madrid: Agencia Estatal de Metereologia.

- [046] Senosiain Aguilar, J. (1996). Bio Arquitectura. En busca de un espacio. Mexico D.F.: Editorial Limusa
- [047] Serra Florensa, R. (1989). Clima lugar y Arquitectura. Manual de diseño bioclimático. Madrid: CIEMAT, Ministerio de Industria y Energía,.
- [048] Szokolay, S. V. (1978). Energía solar y edificación. Barcelona: Blume.
- [049] Szokolay, S. V. (1983). Arquitectura Solar. Realización y Proyectos. Barcelona: Blume.
- [050] Velasco Roldán, L. (2011). El movimiento del aire condicionante de diseño arquitectónico. Madrid: Ministerio de Fomento. Secretaría General Técnica. Centro de publicaciones.
- [051] Vitruvio Polonio, M. L. (1981). Compendio de los diez libros de arquitectura. Murcia: Colegio Oficial de Aparejadores de Murcia.
- [052] Yáñez Parareda, G. (1982). Energía solar, edificación y clima. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (2 tomos).

6.2.- NORMATIVA

6.2.1.- Directivas europeas:

[053] Comunidad Económica Europea. Directiva 93/76/CEE del Consejo, de 13 de septiembre de 1993, relativa a la limitación de las emisiones de dióxido de carbono mediante la mejora de la eficacia energética (SAVE). Diario Oficial de las Comunidades europeas L 273, 22 de septiembre de 1993, pp. 65-71.

- [054] Comunidad Europea. Directiva 2002/91/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios. Diario Oficial de la Unión Europea L 1, 1 de enero de 2003, pp. 28-30.
- [055] Comunidad Europea. Directiva 2006/32/CE del Parlamento europeo y del Consejo de 5 de abril de 2006 sobre la eficiencia del uso final de la energía y los servicios energéticos y por la que se deroga la Directiva 93/76/CEE del Consejo. Diario Oficial de la Unión Europea L 114, 27 de abril de 2006, pp. 64-85.
- [056] Comunidad Europea. 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 y por la que se modifican y se derogan las Directivas 2001/77/CE y 2003/30/CE. Diario Oficial de la Unión Europea L 140, 5 de junio de 2009, pp. 16-62.
- [057] Unión Europea. Directiva 2010/31/UE del Parlamento europeo y del Consejo de 19 de mayo de 2010 relativa a la eficiencia energética de los edificios (refundición). Diario Oficial de la Unión Europea L 153, 18 de junio de 2010, pp. 13-35.
- [058] Unión Europea. Directiva 2012/27/UE del Parlamento europeo y del Consejo de 25 de octubre de 2012 relativa a la eficiencia energética, por la que se modifican las Directivas 2009/125/CE y 2010/30/UE, y por la que se derogan las Directivas 2004/8/CE y 2006/32/CE.

6.2.2.- Normativa española:

- [059] España. Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, por el que se aprueba el Código Técnico de la Edificación. Boletín Oficial del Estado núm. 74, de 28 de marzo de 2006, páginas 11816 a 11831.
- [060] España. Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios de nueva construcción. Boletín Oficial del Estado núm. 27, de 31 de enero de 2007, páginas 4499 a 4507.
- [061] España. Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Boletín Oficial del Estado núm. 89, de 13 de abril de 2013, páginas 27548 a 27562.
- [062] Gobierno de España. Inisterio de Fomento. (2013). Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE "Ahorro de Energía", del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. Boletín Oficial del Estado núm. 219, de 12 de septiembre de 2013, páginas 67137 a 67209.

6.2.3.- Normativa extracomunitaria

- [063] ASHRAE. Handbook of Fundamentals (1975). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Nueva York.
- [064] ASHRAE. Aplications Handbook (1982). American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc., Nueva York.

6.2.4.- Normas UNE consultadas

- [065] AENOR. UNE-EN ISO 7730 (2006). Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. Madrid: AENOR.
- [066] AENOR. UNE-EN 15242. Ventilación de edificios. Métodos de cálculo para la determinación de las tasas de los caudales de aire en edificios, incluyendo la infiltración. Madrid: AENOR.
- [067] AENOR. UNE-EN 15251 (2008). Parámetros del ambiente interior a considerar para el diseño y la evaluación de la eficiencia energética de edificios incluyendo la calidad del aire interior, condiciones térmicas, iluminación y ruido. Madrid: AENOR.

6.3.- OTRAS FUENTES DE INFORMACIÓN

6.3.1.- Artículos, revistas y cuadernos

- [068] Álvarez Domínguez, S., Sánchez de la Flor, F. J., Salmerón Lissen, J.M., Ruiz Pardo, A. (2010). Alternative cooling calculation methods: Comparative simulations. Assessment and improvement of the EPBD Impact (for new buildings and building renovation). AICIA University of Seville. Sevilla.
- [069] Auliciems, A.; Szokolay, S. V. (1997). Thermal Comfort. PLEA, Notes, Passive and Low Energy Architecture International, Queensland.
- [070] Brüel, Kjaer. (1996). The Booklet of the Introduction to thermal confort.

 Dinamarca: Innova AirTech Instruments.
- [071] Bre, F., Fachinotti, V.D., Bearzot, G. (2013). Simulación computacional para la mejora de la eficiencia energética en la climatización de viviendas. Volumen XXXII. Número 37. El calor y la transferencia de

Masa (A), págs. 3107-3119. Asociación Argentina de Mecánica Computacional. Mendoza, Argentina.

http://www.cimec.org.ar/ojs/index.php/mc/article/view/4541/4470

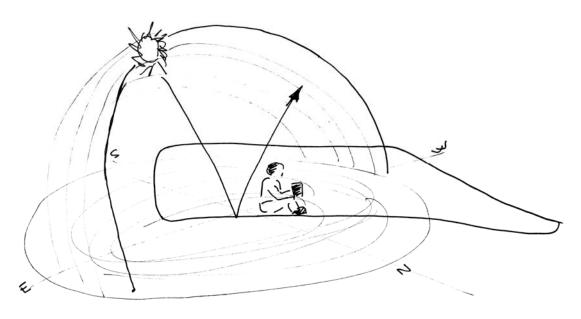
- [072] Bustamante Gómez, W., Encinas Pino, F., Rozas Ubilla, Y., Victorero, F. 2007. Desarrollo de la herramienta de certificación del comportamiento térmico de edificios de chile (CCTE_cl v2). Informe etapa 05. Manuales de referencias técnicas: fundamentos técnicos. Escuela de Arquitectura. Facultad de Arquitectura, Diseño y Estudios Urbanos, Pontificia Universidad Católica de Chile.
- [073] Gobierno de España. Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo. (1999). Guía de edificación sostenible. Madrid: MOPU.
- [074] Gobierno de España. Ministerio de Economía. (2003). Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Madrid: Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa.
- [075] Gobierno de España. Ministerio de Economía. IDAE. (2002). Manual de diseño. La ciudad sostenible. Madrid: Geohábitat.
- [076] Gobierno de España. Ministerio de Educación y Ciencia. CIEMAT (2005). Energía solar en la edificación. Madrid: Publicaciones CIEMAT.
- [077] Gobierno de España. Ministerio de Economía. (2003). Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Madrid. Secretaría de Estado de Energía, Desarrollo Industrial y de la Pequeña y Mediana Empresa.
- [078] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
 IDAE. (2005). Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España
 2004-2012 (E4). Plan de Acción 2005-2007. Madrid. IDAE.

- [079] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Energía y Turismo. IDAE. (2007). Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012 (E4). Plan de Acción 2008-2012. Madrid: IDAE.
- [080] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio.
 IDAE. (2005). Guía técnica: aprovechamiento de la luz natural en la iluminación de edificios. Madrid: IDAE.
- [081] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. (2009). Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Calificación de Eficiencia Energética de Edificios nº 8. Madrid: IDAE.
- [082] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. (2009). Condiciones de aceptación de Procedimientos alternativos a LIDER y CALENER. Anexos. Calificación de Eficiencia Energética de Edificios nº 9. Madrid: IDAE.
- [083] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. (2009). Escala de calificación energética. Edificios de nueva construcción. Calificación de Eficiencia Energética de Edificios nº 7. Madrid: IDAE.
- [084] Gobierno de España. Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. IDAE. (2011). Plan de Ahorro y Eficiencia Energética 2011-2020. 2º Plan de Acción Nacional de Eficiencia Energética de España. Madrid: IDAE.
- [085] Gobierno de España. Ministerio de Medio Ambiente. (2004). Guía resumida del clima en España 1971-2000. Plan Estadístico Nacional 2001-2004. Dirección General del Instituto Nacional de Meteorología. Madrid: Centro de Publicaciones Secretaría General Técnica. 2ª Edición.

- [086] Gómez Azpeitia, G., Bojórquez Morales, G., Pável Ruiz Torres, R. (2007). El confort térmico: dos enfoques teóricos enfrentados. Palapa, enero-junio, año/vol. 2, número 001. Universidad de Colima. Colima, México. pp. 45-57.
- [087] Humphreys, M. A., Nicol, J. F. (1998). Understanding the Adaptive Approach to Thermal Comfort, in ASHRAE Transactions, Technical Bulletin, 104 (1), Atlanta: ASHRAE
- [088] Linés Escardó, A. (1999). La parametrización del clima. La climatología española en los albores del siglo XXI : (aportaciones presentadas al I Congreso de la Asociación de Climatología), Barcelona, 275-280
- [089] López Fernández, J.L., Perero Van Hove, E. 2013. Guía práctica sobre la Certificación de la Eficiencia Energética de Edificios. Asociación de Ciencias Ambientales, Madrid.
- [090] Machado Carrillo, A., 2002. La biodiversidad de las islas Canarias, pp. 89-100. En *La diversidad biológica de España*. Pineda, De Miguel, Casado y Montalvo. Coordinado por Pineda, F. D. Prentice Hall. Madrid.
- [091] Machado, M.V., Brito, C., Neila, F.J., 2003. El cálculo de la conductividad térmica equivalente en la cubierta ecológica. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 3, n. 3, p. 65-76.
- [092] Olivieri, F.; Di Perna, C.; D'Orazio, M.; Olivieri, L.; Neila, J., 2013. Experimental measurements and numerical model for the summer performance assessment of extensive green roofs in a Mediterranean coastal climate. ENERGY AND BUILDINGS 63: 1-14. DOI: 10.1016/j.enbuild.2013.30.054.

6.3.2.- Otras fuentes

- [093] Confort Térmico, 2010. Acondicionamiento Térmico. Facultad de Arquitectura. Universidad de la república. Montevideo, Uruguay.
- [094] Soto Espinoza, R.E., 2012. Desarrollo de un código computacional para el cálculo dinámico de cargas térmicas en edificaciones. (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Nuevo León. Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. San Nicolás de los Garza, NL, México. http://cd.dgb.uanl.mx/handle/201504211/5485.
- [095] European Committee for Standardization (CEN). prEN 15251draft_5 (2014). Guideline for using indoor environmental input parameters for the design and assessment of energy performance of buildings. Technical Committee European Committee for Standardization. CEN/TC 156WG19-N80. Bruxelles.



Estrategias arquitectónicas de diseño bioclimático.

Dibujo de la arquitecta Inés Pacheco Plaza

APÉNDICES

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICIOS nZEB EN CLIMAS DESÉRTICOS SECO APLICANDO EL MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

APÉNDICE A - TERMINOLOGÍA

Absortancia: Fracción de la radiación incidente sobre un cuerpo que es

absorbida por el mismo.

Absortividad (α): Fracción de la radiación solar incidente a una superficie que

es absorbida por la misma. La absortividad va de 0,0 (0%) hasta 1,0 (100%).

Adaptación: Ajustes fisiológicos, psicológicos y de conducta de los ocupantes

del edificio al ambiente térmico interior para evitar el disconfort.

En edificios ventilados naturalmente, estos ajustes se deben en ocasiones a

cambios en el ambiente interior inducidos por las condiciones meteorológicas

exteriores.

Adiabático: Ver Cerramiento adiabático.

ACS: Agua Caliente Sanitaria.

Albedo: Fracción de la radiación incidente que es reflejada por una superficie,

etimológicamente significa blancura.

Algoritmos Genéticos (AGs): Son métodos adaptativos que pueden usarse

para resolver problemas de búsqueda y optimización. Están basados en el

proceso genético de los organismos vivos. A lo largo de las generaciones, las

poblaciones evolucionan en la naturaleza de acorde con los principios de la

selección natural y la supervivencia de los más fuertes, postulados por Darwin

(1859). Por imitación de este proceso, los Algoritmos Genéticos son capaces

de ir creando soluciones para problemas del mundo real. La evolución de

dichas soluciones hacia valores óptimos del problema depende en buena

medida de una adecuada codificación de las mismas.

Un algoritmo genético consiste en una función matemática o una rutina de

software que toma como entradas a los ejemplares y retorna como salidas

cuáles de ellos deben generar descendencia para la nueva generación.

A.1

Los principios básicos de los Algoritmos Genéticos fueron establecidos en 1970 por John Henry Holland.

Ambiente interior: Espacio cerrado separado del ambiente exterior o espacios adyacentes por un elemento de la envolvente.

Balance energético: Aplicación de la ecuación de la conservación de la energía a un sistema determinado. Contabilidad de cantidades de energía intercambiadas por un sistema.

Bienestar térmico: Condiciones interiores de temperatura, humedad y velocidad del aire establecidas reglamentariamente que se considera producen una sensación de bienestar adecuada y suficiente a sus ocupantes.

Calificación energética: Letra que indica la clase de eficiencia energética para un indicador determinado (por ejemplo, consumo energético). La escala de calificación energética se construye en base al valor del indicador para el edificio de referencia, el valor del indicador para el edificio objeto y la dispersión del indicador para la población de referencia. En edificios nuevos la escala comprende, en orden de mayor a menor eficiencia, las calificaciones o clases A, B, C, D y E, extendiéndose hasta las calificaciones F y G para edificios existentes.

Calor: Transferencia de energía de una parte a otra de un cuerpo, o entre diferentes cuerpos, en virtud de una diferencia de temperatura. El calor es energía en tránsito; siempre fluye de una zona de mayor temperatura a una zona de menor temperatura.

Calor específico: Cantidad de calor que es necesario suministrar a la unidad de masa de un cuerpo para elevar un grado su temperatura.

Calor latente: Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo al cambiar de estado.

Calor sensible: Cantidad de calor que cede o absorbe un cuerpo sin cambiar de estado.

Capacidad calorífica: Energía necesaria para aumentar en un grado la temperatura de un cuerpo. Sus unidades son K/J, o C/J

Carga interna: Conjunto de solicitaciones generadas en el interior del edificio, debidas, fundamental- mente, a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos y la iluminación. En función de su densidad de las fuentes internas la carga interna de los espacios habitables se clasifica en:

Carga interna	Densidad de las fuentes internas, CFI [W/m ²]
Baja	< 6
Media	6 – 9
Alta	9 – 12
Muy alta	> 12

Carga interna en función de la densidad de las fuentes internas

Caudal de ventilación: Magnitud del caudal de aire exterior para un recinto o edificio bien a través del sistema de ventilación o de infiltración a través de la envolvente del edificio.

Cerramiento: Elemento constructivo del edificio que lo separa del exterior, ya sea aire, terreno u otros edificios. Comprende las cubiertas, suelos, huecos, muros y medianeras.

En la intervención en edificios existentes, cuando un elemento de cerramiento separe una zona ampliada respecto a otra existente, se considerará perteneciente a la zona ampliada

Cerramiento adiabático: Cerramiento a través del cual se considera que no se produce intercambio de calor.

Clima de referencia: Clima normalizado que define los parámetros climáticos (temperatura, radiación solar...) representativos de una zona climática concreta para el cálculo de la demanda. Permite estandarizar las solicitaciones exteriores.

Climatización: Proceso de tratamiento de aire que se efectúa a lo largo de todo el año, controlando, en los espacios interiores, temperatura, humedad, pureza y velocidad del aire.

Compacidad: La compacidad es el resultado de dividir el volumen comprendido por la envolvente térmica de la edificación entre el área de transmisión térmica de la envolvente (V/A_T)

Condiciones operacionales: Conjunto de temperaturas de consigna y distribución horaria de las cargas internas definidas para cada perfil de uso.

Conducción: Transferencia térmica en el que el calor se mueve o viaja desde una capa de temperatura elevada de un sólido a otra capa de inferior temperatura debido al contacto directo de las moléculas del material.

Consumo energético: Es la energía necesaria para satisfacer la demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS y, en edificios de uso distinto al residencial privado, de iluminación, del edificio, teniendo en cuenta la eficiencia de los sistemas empleados. En el contexto de este documento, se expresa en términos de energía primaria y en unidades kW·h/m².año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Convección: Transporte en un fluido de una magnitud física, como masa, electricidad o calor, por desplazamiento de sus moléculas debido a diferencias de densidad.

Corriente de aire: Enfriamiento local indeseado del cuerpo debido al movimiento del aire

Cubierta: Cerramiento en contacto con el aire exterior en su cara superior cuya inclinación sea inferior a 60º respecto a la horizontal.

Demanda energética: Energía útil necesaria que tendrían que proporcionar los sistemas técnicos para mantener en el interior del edificio unas condiciones definidas reglamentariamente en función del uso del edificio (perfiles de uso) y de la zona climática en la que se ubique (clima de referencia). Se puede dividir en demanda energética de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación, y se expresa en kW·h/m²·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Demanda energética del edificio de referencia: Demanda energética obtenida para el edificio de referencia. Puede obtenerse para la demanda energética de calefacción, de refrigeración, conjunta (de calefacción y refrigeración) o global (que incluye la demanda de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación). Se expresa en kW·h/m²·año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Demanda energética conjunta (de calefacción y refrigeración): Demanda energética obtenida como suma ponderada de la demanda energética de calefacción (D_C) y la demanda energética de refrigeración (D_R). Se expresa en kW·h/m²-año, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

La ponderación se realiza en función del consumo de energía primaria requerido para combatir cada demanda energética, siendo $D_G = D_C + 0.70 \cdot D_R$ la expresión que permite obtener la demanda energética conjunta para edificios situados en territorio peninsular y $D_G = D_C + 0.85 \cdot D_R$ para el caso de territorio extrapeninsular.

Densidad de las fuentes internas: Promedio horario de la carga térmica total debida a las fuentes internas, repercutida sobre la superficie útil.

Se calcula a partir de las cargas nominales en cada hora para cada carga (carga sensible debida a la ocupación, carga debida a iluminación y carga debida a equipos) a lo largo de una semana tipo:

$$C_{FI} = \Sigma C_{OC} / (7.24) + \Sigma C_{II} / (7.24) + \Sigma C_{eq} / (7.24)$$

 ΣC_{OC} = suma de las cargas sensibles nominales por ocupación [W/m²], por hora y a lo largo de una semana tipo

 ΣC_{il} = suma de las cargas nominales por iluminación [W/m²], por hora y a lo largo de una semana tipo

 ΣC_{eq} = suma de las cargas nominales de equipos [W/m²], por hora y a lo largo de una semana tipo

La densidad de las fuentes internas del edificio se obtiene promediando las densidades de cada uno de los espacios ponderadas por la fracción de la superficie útil que representa cada espacio en relación a la superficie útil total del edificio.

E4: Estrategia de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2004-2012.

Edificio: Construcción fija, hecha con materiales resistentes, para habitación humana o para albergar otros usos.

Edificios sin refrigeración mecánica: Edificios que no tienen ninguna refrigeración mecánica y se basan en otras técnicas para reducir las altas temperaturas interiores en la estación cálida, como ventanas de tamaño moderado, protección adecuada del sol, uso de la masa del edificio, ventilación natural, ventilación nocturna etc., para prevenir el sobrecalentamiento.

Efecto Invernadero: El que producen unos materiales y sustancias que tienen distinto comportamiento transmisivo en función de la longitud de onda de la radiación. Dejan pasar una parte importante de la radiación de onda corta (solar, por ejemplo) y reflejan la radiación de onda larga que emiten los cuerpos a temperaturas próximas a la del ambiente.

Emisividad: Capacidad relativa de una superficie para radiar calor. Los factores de emisividad van de 0.0 (0%) hasta 1.0 (100%).

Enfriamiento activo: Véase enfriamiento mecánico.

Energía: Propiedad de los cuerpos que se manifiesta por su capacidad de realizar un cambio (de posición o de cualquier otro tipo).

Energía final: Energía tal y como se utiliza en los puntos de consumo. Es la que compran los consumidores, en forma de electricidad, carburantes u otros combustibles usados de forma directa.

Energía primaria: Energía suministrada al edificio procedente de fuentes renovables y no renovables, que no ha sufrido ningún proceso previo de conversión o transformación. Es la energía contenida en los combustibles y otras fuentes de energía e incluye la energía necesaria para generar la energía final con- sumida, incluyendo las pérdidas por su transporte hasta el edificio, almacenamiento, etc.

Energía primaria = Energía final + Pérdidas en transformación + Pérdidas en transporte



Energía procedente de fuentes renovables: Energía procedente de fuentes renovables no fósiles, es decir, energía eólica, solar, aerotérmica, geotérmica, hidrotérmica y oceánica, hidráulica, biomasa, gases de vertedero, gases de plantas de depuración y biogás.

Energías renovables: Energías cuya utilización y consumo no suponen una reducción de los recursos o potencial existente de las mismas (energía eólica, solar, hidráulica,...). La biomasa también se considera como energía renovable pues la renovación de bosques y cultivos se puede realizar en un periodo de tiempo reducido.

Energía útil: Energía de que dispone el consumidor después de la última conversión realizada por sus propios aparatos.

Enfriamiento mecánico: Enfriamiento del ambiente interior mediante medios mecánicos utilizados para proporcionar enfriamiento del aire de impulsión, ventiloconvectores, superficies enfriadas, etc.

La definición está relacionada con las expectativas de las personas relativas a la temperatura interior en estaciones calurosas. La apertura de ventanas durante el día y la noche no se considera como enfriamiento mecánico. Se considera como enfriamiento mecánico cualquier ventilación mecánica asistida (ventiladores).

Entalpía: Magnitud termodinámica de un cuerpo físico o material, equivalente a la suma de su energía interna más el producto de su volumen por la presión exterior. Su variación expresa la cantidad de energía absorbida o cedida por un sistema termodinámico, es decir, la cantidad de energía que un sistema intercambia con su entorno.

Entropía: Magnitud termodinámica relacionada con la degradación de la energía, que tiene lugar en todos los procesos. La entropía también es un indicador del estado de desorden de un sistema.

Envolvente (térmica): La envolvente térmica del edificio está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

Los elementos que componen la envolvente térmica del edificio son: cubiertas, suelos, fachadas (muros y huecos), medianerías, cerramientos en contacto con el terreno y particiones interiores.

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 la demanda energética.

En función de su densidad de las fuentes internas, los espacios habitables se clasifican en espacios habitables de muy alta, alta, media o baja carga interna.

En función de la disponibilidad de sistemas de calefacción y/o refrigeración, los espacios habitables se clasifican en acondicionados o no acondicionados.

Espacio (habitable) acondicionado: Espacio habitable que va a disponer de un sistema de calefacción y/o refrigeración. En uso residencial privado se consideran acondicionados todos los espacios habitables.

En uso residencial privado se consideran como acondicionados todos los espacios habitables únicamente a efectos de cálculo de la demanda, pudiendo existir entre ellos algunos que no incluyan en la práctica sistemas de acondicionamiento, como suele ser el caso de escaleras y zonas comunes.

Espacio (habitable) de carga interna alta: Espacio habitable donde se genera gran cantidad de calor por su ocupación, iluminación o equipos existentes. Corresponde a espacios con una densidad de las fuentes internas entre 9 W/m² y 12 W/m².

Espacio (habitable) de carga interna baja: Espacio habitable donde se disipa poco calor. Comprende los espacios destinados principalmente a residir en ellos, con carácter eventual o permanente. En esta categoría se incluyen todos los espacios de edificios de viviendas y aquellas zonas o espacios de edificios asimilables a éstos en uso y dimensión, tales como habitaciones de hotel, habitaciones de hospitales y salas de estar, así como sus zonas de circulación vinculadas. Corresponde a una densidad de las fuentes internas inferior a 6 W/m².

Espacio (habitable) de carga interna media: Espacio habitable donde se genera una cantidad de calor, intermedia entre los espacios definidos con alta y baja carga interna. Corresponde a una densidad de las fuentes internas entre 6 W/m² y 9 W/m².

Espacio (habitable) de carga interna muy alta: Espacio habitable donde se genera gran cantidad de calor por su ocupación, iluminación o equipos existentes. Corresponde a espacios con una densidad de las fuentes internas superior a 12 W/m².

Espacio (habitable) no acondicionado: Espacio habitable que no va a disponer de un sistema de cale- facción y/o refrigeración. Al ser un espacio habitable dispone, sin embargo de fuentes internas (iluminación, ocupación y equipos). Se aplica a usos distintos del residencial privado, puesto que en este se consideran acondicionados todos los espacios habitables.

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 la demanda energética. Al no ser un espacio habitable no se considera la existencia de fuentes internas (iluminación, ocupación y equipos).

Estación de calentamiento: Partes del año durante las cuales se necesitan los equipos de calefacción para mantener las temperaturas interiores a niveles

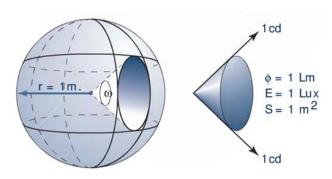
específicos (al menos partes del día y parte del edificio, normalmente en invierno).

La duración de la estación de calentamiento difiere sustancialmente de un país a otro y de una región a otra.

Estación de enfriamiento: Parte del año durante la cual se necesitan los equipos de refrigeración para mantener las temperaturas interiores a niveles específicos (al menos partes del día y parte del edificio, normalmente en verano).

La duración de la estación de enfriamiento difiere sustancialmente de un país a otro y de una región a otra.

Estereorradián: Es la unidad de medida de ángulo sólido del Sistema Internacional de Unidades. El nombre estereorradián se compone del griego "stereos" que significa "sólido" y radián, es el equivalente tridimensional del radián.



 ω (total) = 4π estereorradianes

Estereorradián (ángulo sólido)

Fuente: Manual de Luminotecnia INDAL, 2002, p. 48

Evaporación: Cambio de fase del agua de un estado líquido a sólido por absorción de calor.

Fachada: Cerramiento en contacto con el aire exterior cuya inclinación es superior a 60° respecto a la horizontal. La orientación de una fachada se caracteriza mediante el ángulo α que es el formado por el norte geográfico

y la normal exterior de la fachada, medido en sentido horario. Se distinguen 8 orientaciones según los sectores angulares contenidos en la figura A.1.

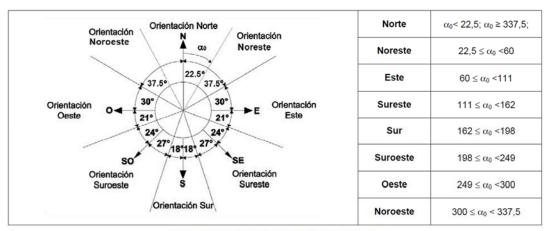


Figura A.1. Orientaciones de las Fachadas

Factor de sombra (Fs): Fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por la presencia de obstáculos de fachada, tales como: retranqueos, voladizos, toldos, salientes laterales u otros.

Factor solar (g^{\perp}): Cociente entre la radiación solar a incidencia normal que se introduce en el edificio a través del acristalamiento y la que se introduciría si el acristalamiento se sustituyese por un hueco perfectamente transparente. Se refiere exclusivamente a la parte semitransparente de un hueco.

Factor solar modificado (F): Fracción de la radiación incidente en un hueco que no es bloqueada por el efecto de obstáculos de fachada y las partes opacas del hueco. Se calcula a partir del factor de sombra del hueco (FS), el factor solar de la parte semitransparente del hueco (g \perp), la absortividad de la parte opaca (α) (normalmente el marco), su transmitancia térmica (Um), y la fracción de la parte opaca (FM), según la siguiente expresión:

$$F = F_{S}.[(1 - F_M)\cdot g_{\perp} + F_M\cdot 0,04\cdot U_m\cdot \alpha]$$

Gestión de la demanda: Proceso de optimización de los consumos energéticos.

Horas de ocupación: Son aquellas horas de ocupación del edificio cuando la mayoría del edificio está siendo utilizado.

Hueco: Cualquier elemento transparente o semitransparente de la envolvente del edificio. Comprende las ventanas, lucernarios y claraboyas así como las puertas acristaladas con una superficie semitransparente superior al 50%.

Inercia térmica: Propiedad que indica la cantidad de calor que puede conservar un cuerpo y la velocidad con que la cede o absorbe del entorno. Depende de la masa, del calor específico de sus materiales y del coeficiente de conductividad térmica de éstos.

Infiltración: Caudal de aire que penetra en un local desde el exterior, de forma incontrolada, a través de las soluciones de continuidad de los cerramientos debido a la falta de estanquidad de los huecos (puertas y ventanas).

Intensidad energética: Relación entre la energía consumida y el Producto Interior Bruto. Mide la eficiencia energética global de un sistema económico, en sentido inverso.

Invernadero adosado: Recinto no acondicionado formado por un cerramiento exterior con un porcentaje alto de superficie acristalada que se coloca adyacente a las fachadas de un edificio. El elemento de fachada que actúa de separación entre el invernadero y las zonas interiores del edificio puede incluir también acristalamientos. Es posible la existencia de una circulación de aire generalmente forzada a través de dicho recinto, bien en forma de recirculación del aire interior o de precalentamiento de aire exterior que se usa para ventilación. A esta misma categoría pertenecen las galerías y los balcones acristalados.

Irradiancia solar: Potencia radiante incidente por unidad de superficie sobre un plano dado. Se expresa en kW/m².

Ktep: Kilo tonelada equivalente de petróleo, es una unidad de energía. Su valor equivale a la energía que rinde una tonelada de petróleo.

Lucernario: Cualquier hueco situado en una cubierta, por tanto su inclinación será menor de 60° respecto a la horizontal.

Masa térmica: Capacidad de los materiales de absorber y almacenar calor. Depende de la densidad del material, de su calor específico y su conductividad.

Material: Parte de un producto sin considerar su modo de entrega, forma y dimensiones, sin ningún revestimiento o recubrimiento.

Parámetro característico: Magnitud que se suministra como dato de entrada a un procedimiento de cumplimentación.

Partición interior: elemento constructivo del edificio que divide su interior en recintos independientes. Pueden ser verticales u horizontales.

En la intervención en edificios existentes, cuando un elemento de cerramiento separe una zona ampliada respecto a otra existente, se considerará perteneciente a la zona ampliada.

Perfil de uso: Descripción hora a hora, para un año tipo, de las cargas internas (carga sensible por ocupación, carga latente por ocupación, equipos, iluminación y ventilación) y temperaturas de consigna (alta y baja) de un espacio habitable. Está determinado por el uso del espacio habitable, su nivel de cargas internas y su periodo de utilización.

Periodo de utilización: Tiempo característico de utilización de un espacio habitable o del edificio. A efectos de la definición de perfiles de uso se establecen periodos de utilización tipo de 8h, 12h, 16h y 24h.

Para edificios de uso residencial privado se establece un periodo de utilización de 24h.

Permeabilidad al aire: Propiedad de una ventana o puerta de dejar pasar el aire cuando se encuentra sometida a una presión diferencial. La permeabilidad al aire se caracteriza por la capacidad de paso del aire, expresada en m³/h, en función de la diferencia de presiones.

Proceso adiabático: En termodinámica, cualquier proceso físico en el que magnitudes como la presión o el volumen se modifican sin una transferencia significativa de energía calorífica hacia el entorno o desde éste.

Producto: Forma final de un material listo para su uso, de forma y dimensiones dadas y que incluye cualquier recubrimiento o revestimiento.

Puente térmico: Zona de la envolvente térmica del edificio en la que se evidencia una variación de la uniformidad de la construcción, ya sea por un cambio del espesor del cerramiento o de los materiales empleados, por la penetración completa o parcial de elementos constructivos con diferente conductividad, por la diferencia entre el área externa e interna del elemento, etc., que conllevan una minoración de la resistencia térmica respecto al resto del cerramiento.

Los puentes térmicos son partes sensibles de los edificios donde aumenta la probabilidad de producción de condensaciones.

Los puentes térmicos más comunes son:

- Puentes térmicos integrados en los cerramientos:
 - Pilares integrados en los cerramientos de las fachadas.
 - contorno de huecos y lucernarios.

- Cajas de persianas.
- Otros puentes térmicos integrados.
- Puentes térmicos formados por encuentro de cerramientos:
 - Frentes de forjado en las fachadas.
 - Uniones de cubiertas con fachadas.
 - Cubiertas con pretil.
 - Cubiertas sin pretil.
 - Uniones de fachadas con cerramientos en contacto con el terreno.
 - Unión de fachada con losa o solera.
 - Unión de fachada con muro enterrado o pantalla.
- Esquinas o encuentros de fachadas, que, dependiendo de la posición del ambiente exterior se subdividen en:
 - Esquinas entrantes.
 - Esquinas salientes.
 - Encuentros de voladizos con fachadas.
 - Encuentros de tabiquería interior con cerramientos exteriores.

Puente térmico lineal: Puente térmico con una sección transversal uniforme a lo largo de una dirección.

Radiación: Consiste en la propagación de energía en forma de ondas electromagnéticas, que se mueven a gran velocidad en un medio o el vacío, con apreciable transporte de energía, a través del vacío o de un medio material.

Radiación solar: Es la radiación electromagnética producida por el sol con una temperatura equivalente a 5.777 K.

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 re- cintos 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.

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. En esta categoría se incluyen explícitamente como no habitables los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados, y sus zonas comunes.

Rendimiento: Relación entre la cantidad de energía útil a la salida de un sistema y la cantidad de energía suministrada a la entrada.

Resistencia térmica: La resistencia térmica de un material representa la capacidad del material de oponerse al flujo del calor. En el caso de materiales homogéneos es la razón entre el espesor y la conductividad térmica del material; en materiales no homogéneos la resistencia es el inverso de la conductancia térmica.

Severidad climática: Cociente entre la demanda energética de un edificio en una localidad y la correspondiente al mismo edificio en una localidad de referencia. En la presente reglamentación se ha tomado Madrid como localidad de referencia, siendo, por tanto, su severidad climática la unidad. Se define una severidad climática de verano y otra de invierno.

Sistema dimensional: Sistema que determina el método para determinar la longitud (u otra magnitud) característica de un elemento constructivo.

Sistema de acondicionamiento del recinto: Sistema capaz de mantener unas condiciones de bienestar en un recinto dentro de un rango definido.

Se incluye el acondicionamiento de aire así como sistemas de superficies radiantes frías y calientes.

Sistema de climatización: Conjunto de dispositivos empleados para producir condiciones microclimáticas de confort.

Sistema de ventilación: Combinación de equipos diseñados para proporcionar aire exterior a los espacios interiores y para extraer el aire interior contaminado.

El sistema puede consistir en componentes mecánicos (por ejemplo combinación de unidades de tratamiento de aire, conductos y unidades terminales). El sistema de ventilación también puede referirse a sistemas de ventilación natural haciendo uso de las diferencias de temperatura y del viento con rejillas en las fachadas en combinación con extracción (por ejemplo en pasillos, aseos etc.). Tanto la ventilación natural como la mecánica pueden combinarse con ventanas que se pueden abrir. Es posible la combinación de componentes mecánicos y no mecánicos (sistemas híbridos).

Solicitaciones exteriores: Acciones exteriores al edificio que tienen efecto sobre el comportamiento térmico del mismo. Comprende, fundamentalmente, las cargas térmicas debidas al clima.

Solicitaciones interiores: Acciones interiores al edificio que tienen efecto sobre el comportamiento térmico del mismo. Comprende, fundamentalmente, las cargas térmicas debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos e iluminación.

Sombreamiento: Influencia producida por elementos que impiden el paso directo de los rayos del sol.

Suelo: cerramiento horizontal o ligeramente inclinado que esté en contacto por su cara inferior con el aire, con el terreno, o con un espacio no habitable.

Temperatura de consigna: Temperatura o rango de temperaturas consideradas en el cálculo de la demanda energética que fija el límite de temperatura interior a partir del cual operan los sistemas de acondicionamiento del edificio, requiriendo aportes energéticos.

Temperatura externa, promedio diario: Media de la temperatura del aire exterior promedio horario durante un día (24 h).

Temperatura externa, media exponencial promedio de funcionamiento: Media exponencialmente ponderada de la temperatura del aire exterior media diaria Θ_{ed} .

Temperatura del aire interior: Temperatura del aire en el interior del local.

Temperatura operativa, \Theta_0: Temperatura uniforme de un recinto negro imaginario en el que un ocupante intercambiaría la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente real no uniforme.

Temperatura operativa óptima: Temperatura operativa a la cual puede esperarse que el mayor número de ocupantes considere la temperatura interior aceptable.

Para edificios enfriados mecánicamente corresponde a un PMV = 0.

Temperatura de la superficie interior: Temperatura de la superficie interior de cada elemento de la envolvente.

Temperatura radiante media: Temperatura superficial uniforme de un entorno en la que un ocupante intercambiase la misma cantidad de calor por radiación que en el entorno no uniforme actual.

Tep: Tonelada equivalente de petróleo. 1 tep = 10000 mcal = 4,2 x 1010 J

Transmitancia térmica: Flujo de calor, en régimen estacionario, para un área y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento que se considera.

Transmitancia térmica lineal: Flujo de calor, en régimen estacionario, para una longitud y diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del puente térmico que se considera.

Transmitancia térmica media del edificio opaco U_{opaco}: Es el resultado de obtener la media de las transmitancias medias de muros, suelos y cubiertas ponderadas por las áreas totales de fachadas, suelos y cubiertas respectivamente.

Rendimiento medio estacional (η), COP medio estacional o EER medio estacional: Es la relación entre la energía útil proporcionada y la energía consumida por un determinado equipo funcionando durante una estación (de calefacción o refrigeración según proceda) en condiciones reales.

Unidad de uso: Edificio o parte de él destinada a un uso específico, en la que sus usuarios están vinculados entre sí bien por pertenecer a una misma unidad familiar, empresa, corporación; o bien por formar parte de un grupo o colectivo que realiza la misma actividad. Se consideran unidades de uso diferentes, entre otras, las siguientes:

En edificios de vivienda, cada una de las viviendas. En hospitales, hoteles, residencias, etc., cada habitación, incluidos sus anexos. En edificios docentes, cada aula, laboratorio, etc.

Uso característico: Uso predominante o representativo a efectos de la estimación de la demanda energética.

Uso Residencial Vivienda: Edificio o zona destinada a alojamiento permanente, cualquiera que sea el tipo de edificio: vivienda unifamiliar, edificio de pisos o de apartamentos, etc.

Usuario: Es el agente que, mediante cualquier título, goza del derecho de uso del edificio de forma continuada. Está obligado a la utilización adecuada del mismo de conformidad con las instrucciones de uso y mantenimiento contenidas en el Libro del Edificio.

Ventilación: Renovación del aire de una estancia o local.

Ventilación controlada por demanda: Sistema de ventilación donde el caudal de ventilación se controla por la calidad del aire, humedad, ocupación o algún otro indicador de la necesidad de ventilación.

Ventilación forzada: Extracción de aire mediante el uso de ventiladores mecánicos.

Ventilación mecánica: Proceso de renovación del aire de un local por medios mecánicos.

Ventilación natural: Extracción de aire basada en la fuerza ascensional de éstos debida a la diferencia de densidades entre masas de aire a diferentes temperaturas.

Zona climática: Zona para la que se definen unas solicitaciones exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática de verano.

Zona térmica: Parte del volumen calefactado que presenta una temperatura de proyecto determinada, dentro de la cual las variaciones espaciales de temperatura se suponen despreciables.

APÉNDICE B – ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

		Página
Tabla 3.1	Datos del clima de referencia Alfa 3, del día 1 de enero del año tipo. Fichero .MET.	126
Tabla 3.2	Temperatura seca anual, en base mensual, del clima de referencia Alfa 3.	127
Tabla 3.3	Datos de humedad relativa, en base mensual, del clima de referencia Alfa 3.	134
Tabla 3.4	Datos de Irradiancia Global horizontal (W·h/m2), en base mensual, del clima de referencia Alfa 3.	138
Tabla 3.5	Datos de la Temperatura exterior promedio de funcionamiento (θ rm), en base diaria, del clima de referencia Alfa 3.	145
Tabla 3.6	Límites superior $(\theta_{i,m\acute{a}x})$ e inferior $(\theta_{i,m\acute{n}n})$ de la temperatura operativa interior en función de los criterios de las categorías del ambiente interior. UNE-EN 15251.	146
Tabla 3.7	Límites superior $(\theta_{i,m\acute{a}x})$ e inferior $(\theta_{i,m\acute{n}n})$ de la temperatura operativa interior en función de los criterios de las categorías del ambiente interior. Comparativa de valores entre la Norma UNE-EN 15251 y el proyecto de Norma prEN 15251.	147
Tabla 3.8	Incremento del límite superior de la temperatura operativa de confort, en función de la velocidad media del aire, según el proyecto de Norma prEN 15251.	148
Tabla 3.9	Geometría del conjunto de recintos superpuestos.	155
Tabla 3.10	Propiedades termofísicas de los materiales de la envolvente térmica opaca.	159
Tabla 3.11	Propiedades termofísicas de la envolvente térmica semitransparente.	162
Tabla 3.12	Propiedades termofísicas del dispositivo móvil de sombra.	162

Tabla 3.13	Propiedades termofísicas de las particiones interiores verticales.	163
Tabla 3.14	Propiedades termofísicas de las particiones interiores horizontales.	163
Tabla 3.15	Tasa metabólica según actividad.	165
Tabla 3.16	Perfil de uso normalizado, para edificio de uso residencial, referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente.	166
Tabla 3.17	Perfil de uso referido a las cargas debidas a la iluminación, los equipos y la ventilación.	170
Tabla 3.18	Perfil de uso referido a los niveles de ventilación.	172
Tabla 4.1	Composición por capas del cerramiento de Fachada de la Zona 0.	225
Tabla 4.2	Composición por capas del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3.	226
Tabla 4.3	Composición por capas del cerramiento de Cubierta.	229
Tabla 4.4	Composición por capas del cerramiento de Suelo en contacto con el terreno.	232
Tabla 4.5	Esquema y composición por capas de la partición interior horizontal.	233
Tabla 4.6	Composición de los huecos de fachada de las Zonas 1, 2 y 3.	234
Tabla 4.7	Composición de los huecos de fachada de las Zonas 1, 2 y 3.	237
Tabla 4.8	Características del modelo del fichero Patrón.	245
Tabla 4.9	Relación de los 32 archivos para las simulaciones paramétricas, generados a partir de los ficheros Patrón.	250
Tabla 4.10	Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 5% del tiempo.	256

Tabla 4.11	Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 6% del tiempo.	256
Tabla 4.12	Ejemplos de la amplitud de las desviaciones correspondientes al 3% o 5% del tiempo.	257
Tabla 4.13	Resumen de estrategias bioclimáticas de las Fases 1 a 3.	279
Tabla 4.14	Fase 4. Propiedades de los tipos de pavimentos empleados.	280
Tabla 4.15	Fase 4. Orientación Sur. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	282
Tabla 4.16	Fase 4. Orientación SurOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	283
Tabla 4.17	Fase 4. Orientación Oeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	284
Tabla 4.18	Fase 4. Orientación NorOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	285
Tabla 4.19	Fase 4. Orientación Norte. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	286
Tabla 4.20	Fase 4. Orientación NorEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	287
Tabla 4.21	Fase 4. Orientación Este. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	288
Tabla 4.22	Fase 4. Orientación Sureste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	289
Tabla 4.23	Fase 5. Orientación Sur. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	290
Tabla 4.24	Fase 5. Orientación Oeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	291
Tabla 4.25	Fase 5. Orientación NorOeste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	292
Tabla 4.26	Fase 5. Orientación NorEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	293

Tabla 4.27	Fase 5. Orientación Este. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	293
Tabla 4.28	Fase 5. Orientación SurEste. Estrategias bioclimáticas que cumplen requisitos de confort.	294
Tabla 4.29	Fase 4. Orientaciones Este y SurEste. Fase 5. Orientaciones Sur, SurOeste y Oeste. Simulaciones paramétricas más desfavorables y que incumplen requisitos de confort.	296
Tabla 4.30	Fase 4. Orientaciones Este y SurEste. Fase 5. Orientaciones Sur, SurOeste y Oeste. Variables bioclimáticas que incumplen requisitos de confort, en las Zonas 1, 2 y 3.	296
Tabla 4.31	Fase 6. Resultados de la orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	316
Tabla 4.32	Fase 6. Resultados de la orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	317
Tabla 4.33	Fase 6. Resultados de la orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	317
Tabla 4.34	Fase 6. Resultados de la orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	318
Tabla 4.35	Fase 6. Resultados de la orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	318
Tabla 4.36	Fase 6. Resultados de la orientación NorEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	319
Tabla 4.37	Fase 6. Resultados de la orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	319
Tabla 4.38	Fase 6. Resultados de la orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	320

APÉNDICE C – ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

		Página
Fig. 1.1	Este gráfico, basado en la comparación de muestras atmosféricas extraídas de los núcleos de hielo y las mediciones directas más recientes, proporciona evidencia de que el CO ₂ atmosférico se ha incrementado desde la revolución Industrial.	17
Fig. 1.2	El gráfico muestra los cambios medios decenales en la temperatura de la tierra. En el gráfico de la izquierda, la comparación se establece entre la temperatura media en 1900 a 1910 y la temperatura media en 2000 y 2010. En el gráfico de la derecha, el mismo comparación se hace pero usando el intervalo de 1960 a 1970. Se observa el calentamiento en todos los continentes con mayor incidencia en las latitudes altas y menor incidencia en el sur de América del Sur.	18
Fig. 2.1	Actualización del mapa mundial de la clasificación climática de Köppen-Geiger.	34
Fig. 2.2	Climas cálidos del Sureste de la península Ibérica. BSh, estepario cálido. BSj, estepario templado. BWh, desértico cálido.	35
Fig. 2.3	Clasificación climática de Köppen-Geiger en el Archipiélago Canario.	36
Fig. 2.4	Mapa de las Islas Canarias.	39
Fig. 2.5	Relación entre la temperatura operativa To –media de la temperatura del aire y de las superficies del local– y el índice PPD para dos grupos de personas sedentarias (M=1.2 met) en condiciones típicas de invierno (ropa=1 clo) y de verano (ropa=0.5 clo).	42
Fig. 2.6	Los tres componentes de adaptación al clima interior según de Dear, et al, 1997.	44
Fig. 2.7	Mecanismos de ajustes psicológicos.	46
Fig. 2.8	Modelo de adaptación de la percepción térmica según de Auliciems, 1981.	47

Fig. 2.9	Rangos de temperatura operativa aceptable para edificios ventilados naturalmente.	49
Fig. 2.10	Valores de diseño de la temperatura operativa interior para edificios sin sistemas de enfriamiento mecánico, en función de la temperatura exterior media ponderada exponencialmente. θ_o = Temperatura operativa en °C. θ_{rm} = Temperatura exterior media en °C.	51
Fig. 2.11	Categorías recomendadas para el diseño de los edificios calentados y enfriados mecánicamente.	51
Fig. 2.12	Esquema de transposición de Directivas Europeas a las Normativas Españolas.	61
Fig. 2.13	Plan de acción global en el ámbito de la energía para el periodo 2007-2009. Objetivos 20-20-20.	63
Fig. 2.14	Avanzar hacia la sustentabilidad.	76
Fig. 2.15	Criterios de evaluación para obtener la certificación Passivhaus en edificios residenciales.	77
Fig. 2.16	Fenómeno de sobrecalentamiento en un recinto cerrado.	80
Fig. 2.17	Irradiancia solar sobre superficies según orientaciones, para la Latitud 28°.	83
Fig. 2.18	Irradiación solar (kWh/m2) diaria en verano e invierno de fachadas con diferentes orientaciones y cubierta, en la latitud 280 N (Islas Canarias).	84
Fig. 2.19	Consideraciones proyectuales para edificios ubicados en clima cálido, según orientación.	85
Fig. 2.20	Orientaciones de fachadas aconsejables (color azul) y desaconsejables (color rojo) para edificios ubicados en el clima desértico cálido de las costas de la Islas canarias (latitud 28° N).	86
Fig. 2.21	Valoración de orientaciones para el clima de las costas de las Islas Canarias.	86
Fig. 2.22	Transmitancia térmica y temperatura superficial interior de diferentes tipos de vidrios.	92

Fig. 2.23	Distribución de la Energía por radiación solar en un doble acristalamiento.	93
Fig. 2.24	Tipos de cubiertas ventiladas.	94
Fig. 2.25	Absortancia y Emitancia de algunos materiales empleados en construcción.	97
Fig. 2.26	Influencia del color del acabado en la absorción de la radiación solar.	97
Fig. 2.27	Sombreamiento total de las fachadas de los edilicios de la calle los Sierpes de Sevilla (España)	98
Fig. 2.28	Muros ventilados.	99
Fig. 2.29	Ejemplo de la diferencia de comportamiento térmico de un cerramiento cuando no recibe radiación y está expuesto al soleamiento.	100
Fig. 2.30	Desfase y amortiguación de la onda térmica.	101
Fig. 2.31	Técnicas de ventilación según la temperatura del aire exterior.	104
Fig. 2.32	Forma y proporciones de la planta de los edificios en diferentes regiones.	105
Fig. 3.1	Síntesis de paralelismo entre factores ambientales exteriores e interiores.	119
Fig. 3.2	Vectores del entorno que modifican el microclima de un lugar.	120
Fig. 3.3	Fenómenos microclimáticos en una ciudad.	121
Fig. 3.4	Fenómeno isla térmica urbana.	122
Fig. 3.5	Modificación puntual de temperaturas según la "historia del aire".	123
Fig. 3.6	Temperatura seca anual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	128

Fig. 3.7	Temperatura seca mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	129
Fig. 3.8	Temperatura seca mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	130
Fig. 3.9	Enfriamiento del aire con condensación.	131
Fig. 3.10	Propiedades del aire exterior en las costas de las Islas Canarias el 21 de Junio, para una presión atmosférica de 101.325 Pa y 0 m de a.s.n.m.	133
Fig. 3.11	Humedad relativa anual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	135
Fig. 3.12	Humedad relativa mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	136
Fig. 3.13	Humedad relativa mensual, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	137
Fig. 3.14	Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal, en base horaria, del clima de referencia Alfa.	138
Fig. 3.15	Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal (azul); Irradiancia solar directa sobre una superficie horizontal (naranja) e Irradiancia solar difusa sobre una superficie horizontal (granate), en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	139
Fig. 3.16	Irradiancia solar Global sobre una superficie horizontal, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	140
Fig. 3.17	Frecuencia, dirección, velocidad, temperatura y humedad relativa de los vientos, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	141
Fig. 3.18	Frecuencia de los vientos, en base horaria, del clima de referencia Alfa 3.	143

Fig. 3.19	Temperatura Operativa de confort (θ o), color verde. Límite superior de la Temperatura Operativa de confort ($\theta_{i,máx}$), en color rojo, y Límite inferior de la Temperatura Operativa recomendada ($\theta_{i,mín}$), en color azul. Calculada para una velocidad del aire interior igual a 0,3 m/s.	147
Fig. 3.20	Temperatura Operativa de confort (θ o), y limites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 0,6 m/s.	149
Fig. 3.21	Temperatura Operativa de confort (θ o), y limites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 0,9 m/s.	149
Fig. 3.22	Temperatura Operativa de confort (θ o), y limites superior e inferior calculados para una velocidad del aire interior igual a 1,2 m/s.	150
Fig. 3.23	Geometría de recintos Norma EN ISO 13791	151
Fig. 3.24	Geometría de agrupación de cuatro recintos superpuestos verticalmente, asimilando el comportamiento térmico de las zonas habitables a un edificio de uso residencial viviendas.	151
Fig. 3.25	Geometría de la Zona 0 – Recinto no habitable planta baja.	152
Fig. 3.26	Geometría de las Zonas 1 y 2 – Recintos habitables. Planta primera y segunda.	153
Fig. 3.27	Geometría de la Zona 3 – Recintos habitables. Planta tercera, en contacto con cubierta.	154
Fig. 3.28	Geometría del edificio – Recintos habitables superpuestos.	155
Fig. 3.29	Esquema de los flujos de calor entre el cerramiento y su entorno.	158
Fig. 3.30	Transferencias de calor a través de un hueco.	161
Fig. 3.31	Factor de sombra de una protección móvil, en función del porcentaje de protección desplegado.	161
Fig. 3.32	Mecanismos fundamentales de intercambio de calor entre el hombre y su entorno.	166

Fig. 3.33	Perfil uso referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente en días laborales.	168
Fig. 3.34	Perfil de uso referido a los porcentajes de las cargas debidas a la ocupación sensible y latente en días laborales.	168
Fig. 3.35	Perfil de uso referido a las cargas debidas a la ocupación sensible y latente los sábados y festivos.	169
Fig. 3.36	Perfil de uso referido a los porcentajes de las cargas debidas a la ocupación sensible y latente los sábados y festivos.	169
Fig. 3.37	Perfil de uso referido a las cargas debidas a la iluminación y los equipos	171
Fig. 3.38	Perfil de usos referido a los porcentajes las cargas debidas a la iluminación y los equipos.	171
Fig. 3.39	Perfil de uso de ventilación, en número de renovaciones hora.	173
Fig. 3.40	Perfil de uso de ventilación, en porcentaje.	173
Fig. 3.41	Perfil de uso de ventilación, en porcentaje	176
Fig. 3.42	Vista parcial de la Hoja "Datos".	176
Fig. 3.43	Vista parcial de la Hoja "Datos".	177
Fig. 3.44	Vista parcial de la Hoja "Datos".	178
Fig. 3.45	Vista parcial de la Hoja "Datos".	179
Fig. 3.46	Vista de la Hoja "Confort Adaptativo".	180
Fig. 3.47	Código de colores según el valor del contenido de las celdas.	180
Fig. 3.48	Vista parcial del encabezado de la Hoja "Tablas To Meses".	181
Fig. 3.49	Árbol de Carpetas para la gestión de archivos.	182

Fig. 3.50	Vista general de la Hoja "Tablas To Meses", en la que se pueden observar los agrupamientos verticales y horizontales de las tablas de resultados de temperatura operativa (θ_0) .	183
Fig. 3.51	Porcentaje de horas de disconfort.	184
Fig. 3.52	Código de colores según el valor del contenido de las celdas.	186
Fig. 3.53	Número de horas en que la temperatura operativa de la zona térmica se encuentra fuera del límite inferior de la zona de confort adaptativo.	186
Fig. 3.54	Número de horas en que la temperatura operativa de la zona térmica se encuentra fuera del límite superior de la zona de confort adaptativo.	187
Fig. 3.55	Vista parcial del encabezado de la Hoja "Tablas To Días".	188
Fig. 3.56	Código de colores según el valor del contenido de las celdas.	189
Fig. 3.57	Representación horaria de disconfort térmico, para cada día del mes.	189
Fig. 3.58	Representación del valor de la temperatura operativa para cada día del mes.	190
Fig. 3.59	Vista general de la Hoja "Gráficos To Zonas".	191
Fig. 3.60	Vista general Hoja "Gestión de Resultados", en la que se muestra de la franja correspondiente a los datos de las simulaciones.	192
Fig. 4.1	Esquema del Método de Balance de Calor.	207
Fig. 4.2	EnergyPlus Estructura simplificada.	210
Fig. 4.3	Modelado 3D en DesignBuilder.	211
Fig. 4.4	Módulos de análisis disponibles en DesignBuilder.	212
Fig. 4.5	Ventana "DatosdelSitio".	218
Fig. 4.6	Modelado 3D del edificio y sus Zonas térmicas, con fachada orientada al Sur.	219

Fig. 4.7	Árbol de jerarquía del modelo.	220
Fig. 4.8	Densidad de ocupación y tasa metabólica considerada para las Zonas 1, 2 y 3.	221
Fig. 4.9	Programación anual de la ocupación, según perfiles de uso del DB HE 1 del CTE 2013.	222
Fig. 4.10	Perfil de uso debido a lluminación y Equipos consideradas para las Zonas 1, 2 y 3.	223
Fig. 4.11	Programación anual de la lluminación y Equipos según DB HE 1 del CTE 2013.	223
Fig. 4.12	Temperatura de consigna interior mínima para la ventilación natural de las Zonas 1, 2 y 3.	224
Fig. 4.13	Esquema del cerramiento de Fachada de la Zona 0.	225
Fig. 4.14	Esquema del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3.	226
Fig. 4.15	Informe de condensaciones superficiales.	227
Fig. 4.16	Diagrama de Glaser, del mes del peor caso (Enero), del cerramiento de Fachada de las Zonas 1, 2 y 3.	228
Fig. 4.17	Esquema del cerramiento de Cubierta de la Zona 3.	229
Fig. 4.18	Informe de condensaciones superficiales del cerramiento de Cubierta.	231
Fig. 4.19	Diagrama de Glaser, del mes del peor caso (Enero), del cerramiento de Cubierta.	231
Fig. 4.20	Esquema del cerramiento de Suelo en contacto con el Terreno de la Zona 0.	232
Fig. 4.21	Esquema de la Partición Interior Horizontal, piso de las Zonas 1, 2 y 3.	233
Fig. 4.22	Configuración del hueco en DesignBuilder	235
Fig. 4.23	Esquema de dispositivo de sombra móvil desplegado un 30%.	236
Fig. 4.24	Configuración de la ventilación mecánica y natural en DesignBuilder.	238

Fig. 4.25	Programación anual de la ventilación mecánica según DB HE 1 del CTE 2013.	239
Fig. 4.26	Programación anual de la ventilación natural nocturna según DB HE 1 del CTE 2013.	240
Fig. 4.27	Variación del porcentaje de acristalamiento al 40%.	241
Fig. 4.28	Configuración de las ventilaciones natural nocturna, mecánica para calidad del aire interior y mecánica de confort.	243
Fig. 4.29	Programación de las ventilaciones natural nocturna, mecánica para calidad del aire interior y mecánica de confort.	244
Fig. 4.30	Vista parcial de la configuración de variables paramétricas en EnergyPlus.	247
Fig. 4.31	Configuración de la variable del dispositivo de control solar.	248
Fig. 4.32	Vista parcial de la configuración de la variable del caudal de aire de Infiltración.	249
Fig. 4.33	Vista parcial de la configuración de la variable del caudal de aire de Ventilación de Confort.	249
Fig. 4.34	Factores que intervienen en la evaluación de la comodidad térmica.	251
Fig. 4.35	Temperatura Operativa y factores ambientales.	252
Fig. 4.36	Porcentajes de hora en que la temperatura Operativa se encuentra fuera de los límites de confort ($\Delta\Theta_i$) un determinado número de horas ($d\Theta_i$).	255
Fig. 4.37	Resultados de la Fase 1, orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	260
Fig. 4.38	Resultados de la Fase 1, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	261
Fig. 4.39	Resultados de la Fase 1, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	262
Fig. 4.40	Resultados de la Fase 1, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	263

Fig. 4.41	Resultados de la Fase 1, orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	264
Fig. 4.42	Grafica anual de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.	264
Fig. 4.43	Gráfica, correspondiente al mes de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.	265
Fig. 4.44	Gráfica, correspondiente a la segunda semana del mes de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.	266
Fig. 4.45	Gráfica, correspondiente al día 8 de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.	266
Fig. 4.46	Gráfica, correspondiente al día 10 de marzo, de la Temperatura Operativa de la Zona 3, con orientación SurEste, y velocidad del aire interior de 0,60 m/s.	267
Fig. 4.47	Resultados de la Fase 2, orientación Sur, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	268
Fig. 4.48	Resultados de la Fase 2, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	269
Fig. 4.49	Resultados de la Fase 2, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	269
Fig. 4.50	Resultados de la Fase 2, orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	270
Fig. 4.51	Resultados de la Fase 2, orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	271
Fig. 4.52	Resultados de la Fase 2, orientación NorEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	272
Fig. 4.53	Resultados de la Fase 2, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	272
Fig. 4.54	Resultados de la Fase 2, orientación SurEste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	273

Fig. 4.55	Resultados de la Fase 3, orientación SurOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	274
Fig. 4.56	Resultados de la Fase 3, orientación Oeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	274
Fig. 4.57	Resultados de la Fase 3, orientación NorOeste, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	275
Fig. 4.58	Resultados de la Fase 3, orientación Norte, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	276
Fig. 4.59	Resultados de la Fase 3, orientación Este, que cumplen con los criterios de selección establecidos.	276
Fig. 4.60	Fase 4. Variables paramétricas empleadas en las fases 4 a 6.	281
Fig. 4.61	Fase 4. Zona 1. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	297
Fig. 4.62	Fase 4. Zona 2. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	298
Fig. 4.63	Fase 4. Zona 3. Orientación Este. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	299
Fig. 4.64	Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	300
Fig. 4.65	Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	301
Fig. 4.66	Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Hueco/Muro 60%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	302

Fig. 4.67	Fase 4. Zona 1. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	303
Fig. 4.68	Fase 4. Zona 2. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	304
Fig. 4.69	Fase 4. Zona 3. Orientación SurEste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	305
Fig. 4.70	Fase 5. Zona 1. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	306
Fig. 4.71	Fase 5. Zona 2. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	307
Fig. 4.72	Fase 5. Zona 3. Orientación Sur. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	308
Fig. 4.73	Fase 5. Zona 1. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	309
Fig. 4.74	Fase 5. Zona 2. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	310
Fig. 4.75	Fase 5. Zona 3. Orientación SurOeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	311

Fig. 4.76	Fase 5. Zona 1. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	312
Fig. 4.77	Fase 5. Zona 2. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	313
Fig. 4.78	Fase 5. Zona 3. Orientación Oeste. Hueco/Muro 80%. Número de horas diarias en que la temperatura operativa se encuentra por encima de los límites de confort.	314
Fig. 5.1	Imagen 3D de los tres recintos habitables superpuestos, que se han configurado como un volumen construido que simula a un edificio entre medianeras.	323
Fig. 5.2	Dibujo torres captadoras de viento.	327
Fig. 5.3	Dibujo de "Casa ecológica para países templados".	332
Fig. 5.4	Croquis de "Unité d'habitation"	335

```
'Option Explicit
Public Carpeta, Directorio As String
Public Txt1, Txt2, Txt3, Dir_01, FilExiste As String
Public Const Mname As String = "MyPopUpMenu"
Public fso As New Scripting.FileSystemObject
Private Declare Function ShellExecute _
  Lib "shell32.dll" _
  Alias "ShellExecuteA" (_
    ByVal hwnd As Long, _
    ByVal IpOperation As String, _
    ByVal lpFile As String, _
    ByVal lpParameters As String,
    ByVal IpDirectory As String, _
    ByVal nShowCmd As Long)
As Long
Public Sub Crear Directorio()
  Dim Dir As FileSystemObject
  Set Dir = New FileSystemObject
  'Comprueba si existe el directorio. Si no existe lo crea
  If Dir.FolderExists(Directorio) = False Then Dir.CreateFolder (Directorio)
  Set Dir = Nothing
End Sub
```

```
Public Sub AbrirArchivo()
  Dim Fila1 As Integer
  'Establece la velocidad del aire en 3 m/s
  Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 1
  'Selecciona la fila de la Hoja Gestión de Resultados donde se encuentra el nombre del
archivo de simulación
  Fila1 = Worksheets("Datos").Range("T6").Value + 4
  'Directorio donde se encuentra el archivo de simulación
  Dir_01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\" &
Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6) & "\" '
  'Llamada a la macro
  ConvertirCSVtoXLSX
End Sub
Public Sub GestionarArchivos()
  Dim I1, I2, I3, I4, Z1, Z2, Z3 As Integer
  Dim Carpeta_1, Carpeta_2, Dir_01, Dir_02, File, Exten As String
  'Desactiva la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = False
  'Llama y visualiza el Formulario 1
  UserForm1.Show
  'Pone nombre de la Fase de simulación a la carpeta
  Carpeta 1 = "Fase " & Worksheets("Datos").Range("AE4").Value & " - EP."
  'Valor de Z1 según nº de Fase, en función del nº de Orientaciones
  If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 1 Then
    Z1 = 315: Z2 = 45: Z3 = 36
  ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 2 Then
    Z1 = 315: Z2 = 45: Z3 = 36
```

```
Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 3 Or
Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 Or Worksheets("Datos").Range("AE4").Value
= 5 Or Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 6 Then
    Z1 = 315: Z2 = 45: Z3 = 72
  End If
    For I1 = 0 To Z1 Step Z2
      For I2 = 20 To 80 Step 20
        For I3 = 1 To Z3
          If I1 = 0 Then
             If I3 < 10 Then
               Carpeta_2 = "00" & I1 & ".0" & I2 & "-00" & I3
             Else
               Carpeta_2 = "00" & I1 & ".0" & I2 & "-0" & I3
             End If
           Elself I1 < 100 Then
             If I3 < 10 Then
               Carpeta_2 = "0" & I1 & ".0" & I2 & "-00" & I3
             Else
               Carpeta_2 = "0" & I1 & ".0" & I2 & "-0" & I3
             End If
           Else
             If I3 < 10 Then
               Carpeta_2 = I1 & ".0" & I2 & "-00" & I3
             Else
               Carpeta_2 = I1 & ".0" & I2 & "-0" & I3
             End If
           End If
           Carpeta = Carpeta_1 & Carpeta_2
           Directorio = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\Fase " &
Worksheets("Datos").Range("AE4").Value & "\" & Carpeta
```

```
Crear_Directorio
             For I5 = 1 To 18
             If I5 = 1 Then Exten = ".audit"
             If I5 = 2 Then Exten = ".bnd"
             If I5 = 3 Then Exten = ".csv"
             If I5 = 1 Then Exten = ".dxf"
             If I5 = 5 Then Exten = ".eio"
             If I5 = 6 Then Exten = ".err"
             If I5 = 7 Then Exten = ".eso"
             If I5 = 2 Then Exten = ".idf"
             If I5 = 9 Then Exten = ".mdd"
             If I5 = 10 Then Exten = ".mtd"
             If I5 = 11 Then Exten = ".mtr"
             If I5 = 12 Then Exten = ".rdd"
             If I5 = 13 Then Exten = ".rvaudit"
             If I5 = 14 Then Exten = ".shd"
             If I5 = 15 Then Exten = ".sql"
             If I5 = 16 Then Exten = ".svg"
             If I5 = 17 Then Exten = "Meter.csv"
             If I5 = 18 Then Exten = "Table.html"
             File = Carpeta & Exten
              Dir 01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\Fase " &
Worksheets("Datos").Range("AE4").Value & "\" & File
              Dir_02 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\Fase " &
Worksheets("Datos").Range("AE4").Value & "\" & Carpeta & "\" & File
             'Verifica si existe el fichero
             ExisteFichero
             If FilExiste = "Falso" Then GoTo Seguir
```

```
FileCopy Dir_01, Dir_02
             Application.DisplayStatusBar = True
             Application.StatusBar = "Procesando fichero: " & File
             GoTo Seguir
Seguir:
           Next I5
      Next I3
    Next I2
  Next I1
  'Application.DisplayStatusBar = False
End Sub
Public Sub ConvertirCSVtoXLSX()
  'Definir objetos a utilizar
  Dim Libro, Hoja, FileCSV, FileXLSX, HojActiva As String
  Dim fso As Object
  'Desactiva la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = False
  'Desprotege la Hoja "Datos"
  Worksheets("Datos").Unprotect
  'Activa la Barra de Estado de Excel
  Application.DisplayStatusBar = True
  'Pone mensaje en la Barra de estado Excel
  Application.StatusBar = "Convirtiendo Ficheros y copiando datos..."
  HojActiva = ActiveSheet.Name
  'Nombre del libro excel activo
  Libro = ThisWorkbook.Name
  'Crea nombre a la Hoja que contiene los datos
```

```
Hoja = Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value & ".csv", 19) & "-" &
Right(Worksheets("Datos").Range("F10"), 3)
  'Crea nombre al fichero CSV que contiene datos
  FileCSV = Hoja & ".csv"
  'Crea nombre al fichero XLSX con los datos de To y HR de las Zonas 1,2 y 3 que contiene
datos
  FileXLSX = Worksheets("Datos").Range("F10").Value & "_Datos To y HR Zonas 1,2 y 3.xlsx"
  Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
  If fso.FileExists(Dir_01 & FileXLSX) Then
    Workbooks.Open FileName:=Dir_01 & FileXLSX
     With Workbooks(FileXLSX)
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("B2:G8761").Copy
      Workbooks(Libro). Worksheets ("Datos"). Range ("J17: 08776"). Paste Special
xlPasteValues
      .Application.CutCopyMode = False
      .Close
    End With
  Else
    Workbooks.OpenText FileName:=Dir_01 & FileCSV, DataType:=xlDelimited,
Comma:=True, DecimalSeparator:=".", ThousandsSeparator:="," 'Local:=True
    With Workbooks(FileCSV)
      .Sheets.Add After:=Sheets(Sheets.Count)
      .Sheets("Hoja1").Select
      .Sheets("Hoja1").Name = "Datos To y HR"
      .Worksheets(Hoja).Range("A:A").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("A:A").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("BI:BI").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("B:B").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("BK:BK").Copy
```

```
.Worksheets("Datos To y HR").Range("C:C").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("BM:BM").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("D:D").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("CM:CM").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("E:E").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("CN:CN").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("F:F").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets(Hoja).Range("CO:CO").Copy
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("G:G").PasteSpecial xlPasteAll
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("A1").Select
      .Application.DisplayAlerts = False
      .Sheets(Hoja).Delete
      .SaveAs FileName:=Dir 01 & FileXLSX, FileFormat:=xlOpenXMLWorkbook,
CreateBackup:=False
      .Application.DisplayAlerts = True
      'Limpia el Rango de celdas de datos
      .Workbooks(Libro).Worksheets("Datos").Range("J17:O8776").ClearContents
      .Worksheets("Datos To y HR").Range("B2:G8761").Copy
      Workbooks(Libro). Worksheets ("Datos"). Range ("J17:08776"). Paste Special
xlPasteValues
      .Application.CutCopyMode = False
      .Close
    End With
  End If
  Worksheets("Datos").Range("O10").Value = Worksheets("Datos").Range("AE2").Value
  Worksheets(HojActiva).Activate
  Set fso = Nothing
  'Activa la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = True
  'Pone mensaje en la Barra de estado Excel
```

```
Application.StatusBar = "Ejecución terminada."
  'Desactiva la Barra de Estado de Excel
  'Application.DisplayStatusBar = False
End Sub
Public Sub GuardaTablasToMesesAsImagen()
  Dim MyChart As Chart
  Dim objPict As Object
  Dim RgCopy As Range
  Dim nomfic As String
  Dim I1, I2 As Integer
  'Desactiva la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Tablas To Meses"). Unprotect
  Worksheets("Tablas To Meses"). Activate
  ActiveWindow.DisplayGridlines = False
  'Pone el zoom de la hoja al 100%
  ActiveWindow.Zoom = 100
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\"
  Crear_Directorio
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6)
  Crear_Directorio
  For I1 = 1 To 3
    If I1 = 1 Then
      Txt1 = "C5"
      Txt2 = "F6"
      Txt3 = "R45"
```

12 = 1

```
Elself I1 = 2 Then
      Txt1 = "T5"
      Txt2 = "W6"
      Txt3 = "AI45"
      12 = 2
    Elself I1 = 3 Then
      Txt1 = "AK5"
      Txt2 = "AN6"
      Txt3 = "AZ45"
      12 = 3
    End If
    Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6) & "\Zona " & I2
    Crear_Directorio
    'Para la Hoja "Tablas To Meses":
    With Worksheets("Tablas To Meses")
      'Se fijan los anchos de columnas:
      .Columns("C:C").ColumnWidth = 0.5
      .Columns("R:R").ColumnWidth = 0.5
      .Columns("T:T").ColumnWidth = 0.5
      .Columns("AI:AI").ColumnWidth = 0.5
      .Columns("AK:AK").ColumnWidth = 0.5
      .Columns("AZ:AZ").ColumnWidth = 0.5
      'Se fijan los altos de la fila:
      .Rows(5).RowHeight = 5
      .Rows(45).RowHeight = 5
      .Rows(47).RowHeight = 5
      .Rows(87).RowHeight = 5
      .Rows(89).RowHeight = 5
```

```
.Rows(129).RowHeight = 5
    End With
    On Error Resume Next
    'Se fija el rango de celdas que quieres crear como imagen:
    Set RgCopy = Range(Txt1, Txt3)
    If RgCopy Is Nothing Then Exit Sub
    On Error GoTo 0
    RgCopy.CopyPicture Appearance:=xlScreen, Format:=xlPicture
    Worksheets("Tablas To Meses").PasteSpecial
    Set objPict = Selection
    With objPict
      .CopyPicture 1, 1
      Set MyChart = Worksheets("Tablas To Meses").ChartObjects.Add(0, 0, .Width,
.Height).Chart
    End With
    'Se le quita los bordes:
    MyChart.ChartArea.Border.LineStyle = 0
    'Pone el nombre del archivo de salida con valor de la celda "P6" de la Hoja "Datos"
    nomfic = Worksheets("Tablas To Meses").Range(Txt2).Value & "_" & "Zona " & I1
    nomfic = nomfic & ".jpeg"
    With MyChart
      .Paste
      .Export Carpeta & Application.PathSeparator & nomfic
      .Parent.Delete
    End With
    objPict.Delete
    Set RgCopy = Nothing
    Set objPict = Nothing
    Range("A1").Select
```

```
Next I1
  'Para la Hoja "Tablas To Meses":
  With Worksheets("Tablas To Meses")
    'Se fijan los anchos de columnas:
    .Columns("B:B").ColumnWidth = 1
    .Columns("S:S").ColumnWidth = 1
    .Columns("AJ:AJ").ColumnWidth = 1
  End With
  ActiveWindow.DisplayGridlines = True
  Worksheets("Tablas To Meses").Protect
  Worksheets("Tablas To Meses"). Activate
  'Pone el zoom de la hoja al 75%
  ActiveWindow.Zoom = 75
  'Activa la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub GuardaTablasToDiasAsImagen()
  Dim MyChart As Chart
  Dim objPict As Object
  Dim RgCopy As Range
  Dim nomfic As String
  Dim I1, I2 As Integer
  'Desactiva la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Tablas To Días"). Unprotect
  Worksheets("Tablas To Días"). Activate
  ActiveWindow.DisplayGridlines = False
  'Pone el zoom de la hoja al 100%
```

```
ActiveWindow.Zoom = 100
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\"
  Crear_Directorio
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6)
  Crear_Directorio
  Txt1 = "C5"
  Txt2 = "F6"
  Txt3 = "AK38"
  For I1 = 1 To 3
    For I2 = 1 To 12
      Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Tablas\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6) & "\Zona " & I1
      Crear_Directorio
      'Para la Hoja "Tablas To Días":
      With Worksheets("Tablas To Días")
        .Range("AI3").Value = I1
        .Range("AE3").Value = I2
        'Se fijan los anchos de columnas:
         .Columns("C:C").ColumnWidth = 0.5
         .Columns("AK:AK").ColumnWidth = 0.5
        'Se fijan los altos de la fila:
        .Rows(5).RowHeight = 5
        .Rows(38).RowHeight = 5
      End With
      On Error Resume Next
      'Se fija el rango de celdas que quieres crear como imagen:
      Set RgCopy = Range(Txt1, Txt3)
      If RgCopy Is Nothing Then Exit Sub
```

```
On Error GoTo 0
      RgCopy.CopyPicture Appearance:=xlScreen, Format:=xlPicture
      Worksheets("Tablas To Días").PasteSpecial
      Set objPict = Selection
      With objPict
        .CopyPicture 1, 1
        Set MyChart = Worksheets("Tablas To Días").ChartObjects.Add(0, 0, .Width,
.Height).Chart
      End With
      'Se le quita los bordes:
      MyChart.ChartArea.Border.LineStyle = 0
      'Pone el nombre del archivo de salida con valor de la celda "P6" de la Hoja "Datos"
      nomfic = Worksheets("Tablas To Días").Range(Txt2).Value & " " & "Zona " & I1
      nomfic = nomfic & ".jpeg"
      With MyChart
        .Paste
        .Export Carpeta & Application.PathSeparator & nomfic
        .Parent.Delete
      End With
      objPict.Delete
      Set RgCopy = Nothing
      Set objPict = Nothing
      Range("A1").Select
    Next I2
  Next I1
  'Para la Hoja "Tablas To Días":
  With Worksheets("Tablas To Días")
    'Se fijan los anchos de columnas:
    .Columns("B:B").ColumnWidth = 1
```

```
.Columns("AK:AK").ColumnWidth = 1
  End With
  ActiveWindow.DisplayGridlines = True
  Worksheets("Tablas To Días").Protect
  Worksheets("Tablas To Días"). Activate
  'Pone el zoom de la hoja al 90%
  ActiveWindow.Zoom = 90
  'Activa la actualización de pantallas para acelerar el código de la macro
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub ExportarImagenGrafico_To()
  Dim Grafico As ChartObject
  Dim Archivo, TituloGrafico As String
  Dim I1, I2, I3, I4, I5, I6, Fila, Columna As Integer
  Application.ScreenUpdating = False
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Gráficos\"
  Crear_Directorio
  Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Gráficos\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6)
  Crear_Directorio
  With Worksheets("Gráficos To Zonas")
    For I1 = 1 To 3
      Carpeta = ThisWorkbook.Path & "\Imágenes de Gráficos\" &
Left(Worksheets("Datos").Range("F10").Value, 6) & "\Zona " & I1
      Crear_Directorio
      .Activate
      .Range("M2").Value = I1
      To_Zonas
```

```
For I2 = 1 To 13
        .Range("M4").Value = I2
        To_Año_Meses
        For Each Grafico In Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects
           Worksheets("Datos"). Unprotect
           .Unprotect
           .ChartObjects("Gráfico Zona 1").Activate
          TituloGrafico = Worksheets("Datos").Range("F10").Value & " " &
ActiveChart.ChartTitle.TEXT
          Archivo = Carpeta & "\" & TituloGrafico & ".gif"
           Grafico.Chart.Export FileName:=Archivo, FilterName:="gif"
        Next Grafico
        If I2 > 1 Then
           For I3 = 1 To 4
             .Range("M6").Value = 13
             To Semanas
             For Each Grafico In Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects
               Worksheets("Datos").Unprotect
               .Unprotect
               Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects("Gráfico Zona 1"). Activate
               TituloGrafico = Worksheets("Datos").Range("F10").Value & "_" &
ActiveChart.ChartTitle.TEXT
               Archivo = Carpeta & "\" & TituloGrafico & ".gif"
               Grafico.Chart.Export FileName:=Archivo, FilterName:="gif"
             Next Grafico
           Next I3
           For I4 = 1 To 31
             If I2 = 3 And I4 > 28 Then Exit For
             If I2 = 5 And I4 = 31 Then Exit For
             If I2 = 7 And I4 = 31 Then Exit For
```

```
If I2 = 10 And I4 = 31 Then Exit For
             If I2 = 12 And I4 = 31 Then Exit For
             If I4 < 8 Then Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("M6").Value = 1
             If I4 > 7 And I4 < 15 Then Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("M6").Value
= 2
             If I4 > 14 And I4 < 22 Then Worksheets("Gráficos To
Zonas").Range("M6").Value = 3
             If I4 > 21 Then Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("M6").Value = 4
             .Range("M8").Value = I4
             To_Días
             If I1 = 1 Then Fila = I4 + 9
             If I1 = 2 Then Fila = I4 + 51
             If I1 = 3 Then Fila = I4 + 93
             Columna = I2 + 21
             If Worksheets("Tablas To Meses"). Cells(Fila, Columna). Value < 24 Then
               For Each Grafico In Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects
                  Worksheets("Datos"). Unprotect
                  .Unprotect
                  Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects("Gráfico Zona 1"). Activate
                 TituloGrafico = Worksheets("Datos").Range("F10").Value & " " &
ActiveChart.ChartTitle.TEXT
                 Archivo = Carpeta & "\" & TituloGrafico & ".gif"
                  Grafico.Chart.Export FileName:=Archivo, FilterName:="gif"
               Next Grafico
             End If
           Next I4
         End If
      Next I2
    Next I1
```

```
.Range("M4").Value = 1
    .Range("M6").Value = 0
    .Protect
  End With
aquí:
End Sub
Public Sub To Zonas()
  Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Select
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Activate
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Chart Objects ("Gráfico Zona 1"). Activate
  ActiveChart.ChartTitle.TEXT = Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$S$2").Value
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects("Gráfico Zona 1"). Activate
  ActiveChart.SeriesCollection(4).Select
  ActiveChart.SeriesCollection(4).Name = "='Gráficos To Zonas'!$$$6"
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$4").Value = 1
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = ""
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$8").Value = ""
  If Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$2").Value = 1 Then
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "=Datos!$J$17:$J$8776"
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$2").Value = 2 Then
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "=Datos!$K$17:$K$8776"
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$2").Value = 3 Then
    ActiveChart.SeriesCollection(4).Values = "=Datos!$L$17:$L$8776"
  End If
 To_Año_Meses
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$1").Select
```

```
Worksheets("Gráficos To Zonas").Protect
  Worksheets("Datos").Protect
End Sub
Public Sub To Año Meses()
  Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Select
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Activate
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects("Gráfico Zona 1"). Select
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Chart Objects ("Gráfico Zona 1"). Activate
  ActiveChart.Axes(xlCategory).HasMajorGridlines = False
  ActiveChart.ChartTitle.TEXT = Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$S$2").Value
  Worksheets("Datos").Unprotect
  Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=1
  Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=2
  Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = ""
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$8").Value = ""
  If Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$4").Value = 1 Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=1
  Else
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=1,
Criteria1:=Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$4").Value - 1
  End If
End Sub
```

Public Sub To_Semanas()

```
Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Datos").Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Activate
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). ChartObjects("Gráfico Zona 1"). Activate
  ActiveChart.Axes(xlCategory).HasMajorGridlines = False
  ActiveChart.ChartTitle.TEXT = Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$S$2").Value & ",
semana " & Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value
  If Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = 1 Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("1", "2", "3", "4", "5", "6", "7"), Operator:=xlFilterValues
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = 2 Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("8", "9", "10", "11", "12", "13", "14"), Operator:=xlFilterValues
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = 3 Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("15", "16", "17", "18", "19", "20", "21"), Operator:=xlFilterValues
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = 4 And
Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$4").Value = 2 Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("22", "23", "24", "25", "26", "27", "28"), Operator:=xlFilterValues
  Elself Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$6").Value = 4 And
(Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$4").Value = 4 Or Worksheets("Gráficos To
Zonas").Range("$M$4").Value = 6 Or Worksheets("Gráficos To
Zonas").Range("$M$4").Value = 9 Or Worksheets("Gráficos To
Zonas").Range("$M$4").Value = 11) Then
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30"),
Operator:=xlFilterValues
  Else
    Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Array("22", "23", "24", "25", "26", "27", "28", "29", "30", "31"),
Operator:=xlFilterValues
  End If
```

```
Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$8").Value = ""
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$1").Select
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Protect
  Worksheets("Datos").Protect
End Sub
Public Sub To Días()
  Application.ScreenUpdating = False
  Worksheets("Datos").Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Unprotect
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Activate
  Worksheets("Gráficos To Zonas"). Chart Objects ("Gráfico Zona 1"). Activate
  ActiveChart.Axes(xlCategory).HasMajorGridlines = True
  ActiveChart.ChartTitle.TEXT = Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$S$2").Value & ",
día " & Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$8").Value
Salir:
  Worksheets("Datos").Unprotect
  Worksheets("Datos").Range("$B$17:$R$8776").AutoFilter Field:=3,
Criteria1:=Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$8").Value
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Range("$M$1").Select
  Worksheets("Gráficos To Zonas").Protect
  Worksheets("Datos").Protect
End Sub
Public Sub CargarArchivos()
On Error GoTo err_sub
  Dim I2, I1, I3, I4, I5, Z1, UltimaFila As Long
  Dim RangoDia_Z1, RangoDia_Z2, RangoDia_Z3, RangoSemana_Z1, RangoSemana_Z2,
RangoSemana_Z3, ExisteFile As String
```

```
Application.ScreenUpdating = False
'Quita el filtrado de las celdas, si existe
If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
With UserForm1
  .OptionButton Fase 1.Caption = "Fase 1"
  .OptionButton Fase 2.Caption = "Fase 2"
  .OptionButton Fase 3.Caption = "Fase 3"
  .OptionButton Fase 4.Caption = "Fase 4"
  .OptionButton Fase 5.Caption = "Fase 5"
  .OptionButton_Fase_6.Caption = "Fase 6"
  .Frame_Fase.Height = 162
  .Caption = "Seleccionar Fase"
  .Show
End With
'Valor de I5 según nº de Fase, en función del nº de Orientaciones
If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 1 Then
 Z1 = 32: I5 = 36
Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 2 Then
  Z1 = 23: I5 = 72
Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 3 Then
  Z1 = 15: I5 = 72
Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 Then
  Z1 = 32: I5 = 18
ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 5 Then
 Z1 = 10: I5 = 18
ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 6 Then
 Z1 = 9: 15 = 72
End If
```

Worksheets("Gestión de Resultados"). Unprotect

```
Worksheets("Gestión de Resultados"). Select
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Activate
  'Localiza la última fila de la Columna V, que contiene datos
  UltimaFila = Range("V30000").End(xIUp).Row
  'Aviso sobre la fila en la que comenzarán a cargarse los resultados de las simulaciones
  MsgBox "Cargando datos en la fila: " & UltimaFila + 1
  'Directorio donde se encuentran los ficheros de las simulaciones que se van a cargar
  Dir_01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\" &
Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(UltimaFila + 1, 2).Value, 6) & "\"
  For I4 = 1 To Z1
  Worksheets("Datos").Range("T6").Value = UltimaFila - 3
    For I1 = 1 To I5
      'Pone valor en la celda T6 de la hoja Datos para seleccionar nº de simulación en celda
F10
      Worksheets("Datos"). Unprotect
      Worksheets("Datos").Range("T6").Value = I1 + UltimaFila - 4
      'Llamada a la macro
      ConvertirCSVtoXLSX
      For I2 = 1 To 4
        Worksheets("Datos").Range("O10").Value = I2
        If 12 = 1 Then 13 = 0
        If 12 = 2 Then 13 = 15
        If 12 = 3 Then 13 = 15 * 2
        If 12 = 4 Then 13 = 15 * 3
         RangoDia_Z1 = "GB" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "GM" & I1 + UltimaFila + I3
         RangoDia_Z2 = "GO" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "GZ" & I1 + UltimaFila + I3
         RangoDia_Z3 = "HB" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "HM" & I1 + UltimaFila + I3
         RangoSemana_Z1 = "V" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "BQ" & I1 + UltimaFila + I3
         RangoSemana Z2 = "BS" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "DN" & I1 + UltimaFila + I3
```

RangoSemana_Z3 = "DP" & I1 + UltimaFila + I3 & ":" & "FK" & I1 + UltimaFila + I3

'Copia datos diarios, de cada mes, de la Zona1

Worksheets("Tablas To Meses").Range("F42:Q42").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoDia_Z1).PasteSpecial xlPasteValues

'Copia datos diarios, de cada mes, de la Zona2

Worksheets("Tablas To Meses").Range("W42:AH42").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoDia_Z2).PasteSpecial xlPasteValues

'Copia datos diarios, de cada mes, de la Zona3

Worksheets("Tablas To Meses").Range("AN42:AY42").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoDia_Z3).PasteSpecial xlPasteValues

'Copia datos semanales, de cada mes, de la Zona1

Worksheets("Tablas To Semanas").Range("A5:AV5").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoSemana_Z1).PasteSpecial xlPasteValues

'Copia datos semanales, de cada mes, de la Zona2

Worksheets("Tablas To Semanas").Range("AX5:CS5").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoSemana_Z2).PasteSpecial xlPasteValues

'Copia datos semanales, de cada mes, de la Zona3

Worksheets("Tablas To Semanas").Range("CU5:EP5").Copy

Worksheets("Gestión de Resultados").Range(RangoSemana_Z3).PasteSpecial xlPasteValues

Application.DisplayStatusBar = True

Application.StatusBar = "Procesando fichero " & Worksheets("Datos").Range("F10").Value & ", para una velocidad del aire interior de " & Worksheets("Datos").Range("AD6").Value

Next I2

Next I1

```
UltimaFila = Range("V30000").End(xlUp).Row
  Next I4
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Activate
  'Pone el zoom de la hoja al 80%
  ActiveWindow.Zoom = 80
  'Protege la Hoja "Gestión de Resultados"
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(UltimaFila, 1). Select
  Worksheets("Gestión de Resultados").Protect
  Worksheets("Datos").Protect
  'Application.DisplayStatusBar = False
  Beep
  Application.ScreenUpdating = True
  Exit Sub
err_sub:
  MsgBox Err.Description, vbCritical, "error al usar Fso"
End Sub
Public Sub ExisteFichero()
On Error GoTo err_sub
  Dim fso As Object
  'Instancia del objeto FSO para poder _
  usar las funciones FileExists y FolderExists
  Set fso = CreateObject("Scripting.FileSystemObject")
  ' Comprobar archivo
  FilExiste = fso.FileExists(Dir_01)
```

```
Exit Sub
err sub:
  MsgBox Err.Description, vbCritical, "error al usar Fso"
End Sub
Public Sub CopyZ1()
  Dim Hoja As String
  Dim Fila1, Fila2, Fila3, Fila4 As Integer
  'Se desactiva la actualización de la pantalla para acelerar la ejecución del código
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Hoja = "Resultados" & Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6)
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "000" Then
    Fila2 = 5
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "045" Then
    Fila2 = 17
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "090" Then
    Fila2 = 29
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "135" Then
    Fila2 = 41
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "180" Then
    Fila2 = 53
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "225" Then
    Fila2 = 65
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "270" Then
    Fila2 = 77
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "315" Then
    Fila2 = 89
```

```
End If
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "020" Then
    Fila2 = Fila2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "040" Then
    Fila2 = Fila2 + 1
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "060" Then
    Fila2 = Fila2 + 2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "080" Then
    Fila2 = Fila2 + 3
  End If
  'Copia Código de simulación en la Hoja de Resultados
  If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Madera" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 20).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 21).PasteSpecial xlPasteValues
  Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Moqueta" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 36).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 37).PasteSpecial xlPasteValues
  Else
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 4).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 5).PasteSpecial xlPasteValues
  End If
  Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Interior.Color = RGB(220, 230, 241)
  'Selecciona la Celda A1 de la Hoja "Gestión de Resultados"
```

```
Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A1").Value = ""
  Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A1").Select
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub CopyZ2()
  Dim Hoja As String
  Dim Fila1, Fila2 As Integer
  'Se desactiva la actualización de la pantalla para acelerar la ejecución del código
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Hoja = "Resultados" & Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6)
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "000" Then
    Fila2 = 9
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "045" Then
    Fila2 = 21
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "090" Then
    Fila2 = 33
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "135" Then
    Fila2 = 45
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "180" Then
    Fila2 = 57
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "225" Then
    Fila2 = 69
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "270" Then
    Fila2 = 81
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "315" Then
    Fila2 = 93
```

```
End If
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "020" Then
    Fila2 = Fila2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "040" Then
    Fila2 = Fila2 + 1
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "060" Then
    Fila2 = Fila2 + 2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "080" Then
    Fila2 = Fila2 + 3
  End If
  'Copia Código de simulación en la Hoja de Resultados
  If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Madera" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 20).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 21).PasteSpecial xlPasteValues
  Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Moqueta" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 36).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 37).PasteSpecial xlPasteValues
  Else
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 4).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 5).PasteSpecial xlPasteValues
  End If
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Interior. Color = RGB(184, 204, 228)
  'Selecciona la Celda A1 de la Hoja "Gestión de Resultados"
```

```
Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A1").Value = ""
  Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A1").Select
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub CopyZ3()
  Dim Hoja As String
  Dim Fila1, Fila2 As Integer
  'Se desactiva la actualización de la pantalla para acelerar la ejecución del código
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Hoja = "Resultados" & Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6)
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "000" Then
    Fila2 = 13
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "045" Then
    Fila2 = 25
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "090" Then
    Fila2 = 37
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "135" Then
    Fila2 = 49
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "180" Then
    Fila2 = 61
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "225" Then
    Fila2 = 73
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "270" Then
    Fila2 = 85
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 13, 3) = "315" Then
    Fila2 = 97
```

```
End If
  If Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "020" Then
    Fila2 = Fila2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "040" Then
    Fila2 = Fila2 + 1
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "060" Then
    Fila2 = Fila2 + 2
  Elself Mid(Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Value, 17, 3) = "080" Then
    Fila2 = Fila2 + 3
  End If
  'Copia Código de simulación en la Hoja de Resultados
  If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Madera" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 20).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 21).PasteSpecial xlPasteValues
  Elself Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 And Worksheets("Gestión de
Resultados").Cells(Fila1, 16).Value = "Moqueta" Then
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 36).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 37).PasteSpecial xlPasteValues
  Else
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 4).Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("C4").Copy
    Worksheets(Hoja).Cells(Fila2, 5).PasteSpecial xlPasteValues
  End If
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Cells(Fila1, 2). Interior. Color = RGB(149, 179, 215)
  'Selecciona la Celda A1 de la Hoja "Gestión de Resultados"
```

```
Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A1").Select
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub VerToZ1()
  Dim Fila1 As Integer
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Worksheets("Datos").Range("T6").Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 1).Value
  If Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 30 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 1
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 60 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 2
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 90 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 3
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 21, 3) = 120 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 4
  End If
  Worksheets("Tablas To Meses"). Activate
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AE3").Value = 1
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AI3").Value = 1
  'Directorio donde se encuentra el archivo de la simulación
  Dir_01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\" &
Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6) & "\"
  'Llamada a la macro
  ConvertirCSVtoXLSX
  'Se desactiva la actualización de la pantalla
```

```
Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Public Sub VerToZ2()
  Dim Fila1 As Integer
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Worksheets("Datos").Range("T6").Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 1).Value
  If Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 30 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 1
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 60 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 2
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 90 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 3
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 21, 3) = 120 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 4
  End If
  Worksheets("Tablas To Meses"). Activate
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AE3").Value = 1
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AI3").Value = 2
  'Directorio donde se encuentra el archivo de la simulación
  Dir 01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\" &
Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6) & "\"
  'Llamada a la macro
  ConvertirCSVtoXLSX
  'Se desactiva la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
```

```
Public Sub VerToZ3()
  Dim Fila1 As Integer
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = False
  Fila1 = ActiveCell.Row
  Worksheets("Datos").Range("T6").Value = ActiveSheet.Cells(Fila1, 1).Value
  If Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 30 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 1
  ElseIf Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 60 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 2
  ElseIf Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 22, 2) = 90 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 3
  Elself Mid(ActiveSheet.Cells(Fila1, 2).Value, 21, 3) = 120 Then
    Worksheets("Datos").Range("O10").Value = 4
  End If
  Worksheets("Tablas To Meses"). Activate
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AE3").Value = 1
  Worksheets("Tablas To Días").Range("AI3").Value = 3
  'Directorio donde se encuentra el archivo de la simulación
  Dir 01 = Left(ThisWorkbook.Path, 39) & "Ficheros Energy Plus\" &
Left(Worksheets("Gestión de Resultados").Cells(Fila1, 2).Value, 6) & "\"
  'Llamada a la macro
  ConvertirCSVtoXLSX
  'Se desactiva la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Sub FiltrarResultados()
```

```
'Se activa la actualización de la pantalla
Application.ScreenUpdating = False
'Desprotege la Hoja "Gestión de Resultados"
Worksheets("Gestión de Resultados"). Unprotect
'Quita todos los fritos existentes en la hoja activa
'QuitarFiltrado
'Configura la presentación del UserForm 1
With UserForm1
  .OptionButton_Fase_1.Caption = "Zona 1"
  .OptionButton_Fase_2.Caption = "Zona 2"
  .OptionButton_Fase_3.Caption = "Zona 3"
  .OptionButton_Fase_4.Caption = "Todas"
  .Frame_Fase.Height = 114
  .Caption = "Seleccionar Zona"
  .Show
End With
If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 1 Then
  'Filtra resultados de la Zona 1, que cumplen requisitos de Confort
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=168, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=169, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=170, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=171, Criteria1:="0"
  'Quita Filtro de las Zona 2
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=173
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=174
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=175
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=176
  'Quita Filtro de las Zona 3
```

ESTRATEGIAS PARA EL DISEÑO BIOCLIMÁTICO DE EDIFICIOS nZEB EN CLIMAS DESÉRTICOS SECO APLICANDO EL MODELO DE CONFORT ADAPTATIVO

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=178

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=179

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=180

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=181

'Habilita los botones de opción y comando de las Zona 1

UserForm2.OptionButton1.Enabled = True

UserForm2.CommandButton1.Enabled = True

'Inhabilita los botones de opción y comando de las Zonas 2 y 3

UserForm2.OptionButton2.Enabled = False

UserForm2.OptionButton3.Enabled = False

UserForm2.CommandButton2.Enabled = False

UserForm2.CommandButton3.Enabled = False

ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 2 Then

'Filtra resultados de la Zona 2, que cumplen requisitos de Confort

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=173, Criteria1:="0"

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=174, Criteria1:="0"

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=175, Criteria1:="0"

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=176, Criteria1:="0"

'Quita Filtro de las Zona 1

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=168

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=169

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=170

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$25000").AutoFilter Field:=171

'Quita Filtro de las Zona 3

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=178

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=179

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=180

ActiveSheet.Range("\$B\$4:\$FZ\$45000").AutoFilter Field:=181

'Habilita los botones de opción y comando de las Zonas 2 y 3

```
UserForm2.OptionButton2.Enabled = True
 UserForm2.CommandButton2.Enabled = True
 'Inhabilita los botones de opción de las Zonas 1 y 3
 UserForm2.OptionButton1.Enabled = False
 UserForm2.OptionButton3.Enabled = False
 UserForm2.CommandButton1.Enabled = False
 UserForm2.CommandButton3.Enabled = False
ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 3 Then
 'Filtra resultados de la Zona 3, que cumplen requisitos de Confort
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=178, Criteria1:="0"
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=179, Criteria1:="0"
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=180, Criteria1:="0"
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=181, Criteria1:="0"
  'Quita Filtro de las Zona 1
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=168
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=169
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=170
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=171
  'Quita Filtro de las Zona 2
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=173
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=174
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=175
 ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=176
 'Habilita los botones de opción y comando de las Zonas 2 y 3
  UserForm2.OptionButton3.Enabled = True
  UserForm2.CommandButton3.Enabled = True
 'Inhabilita los botones de opción de las Zonas 1 y 2
  UserForm2.OptionButton1.Enabled = False
```

```
UserForm2.OptionButton2.Enabled = False
  UserForm2.CommandButton1.Enabled = False
  UserForm2.CommandButton2.Enabled = False
ElseIf Worksheets("Datos").Range("AE4").Value = 4 Then
  'Filtra resultados de la Zona 1, que cumplen requisitos de Confort
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=168, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=169, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=170, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=171, Criteria1:="0"
  'Filtra resultados de la Zona 2, que cumplen requisitos de Confort
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=173, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=174, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=175, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$25000").AutoFilter Field:=176, Criteria1:="0"
  'Filtra resultados de la Zona 3, que cumplen requisitos de Confort
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=178, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=179, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=180, Criteria1:="0"
  ActiveSheet.Range("$B$4:$FZ$45000").AutoFilter Field:=181, Criteria1:="0"
  'Habilita los botones de opción y comando de las Zonas 1, 2 y 3
  UserForm2.OptionButton1.Enabled = True
  UserForm2.OptionButton2.Enabled = True
  UserForm2.OptionButton3.Enabled = True
  UserForm2.CommandButton1.Enabled = True
  UserForm2.CommandButton2.Enabled = True
  UserForm2.CommandButton3.Enabled = True
End If
```

'Situa en la Celda "A4" de la Hoja "Gestión de Resultados" la Zona en la que está activado el filgtrado

```
If Worksheets("Datos").Range("AE4").Value < 4 Then
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A4").Value = "Zona" &
Worksheets("Datos").Range("AE4").Value
  Else
    Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A4").Value = "Todas"
  End If
  'Selecciona la Celda A4
  Worksheets("Gestión de Resultados"). Select
  'Protege la Hoja "Gestión de Resultados"
  'Worksheets("Gestión de Resultados").Protect
  'Se desactiva la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
End Sub
Sub QuitarFiltrado()
  'Se activa la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = False
  'Quita el filtrado de las celdas, si existe
  If ActiveSheet.FilterMode Then ActiveSheet.ShowAllData
  'Limpia la Celda "A4" de la Hoja "Gestión de Resultados"
  Worksheets("Gestión de Resultados").Range("A4").Value = ""
  'Se desactiva la actualización de la pantalla
  Application.ScreenUpdating = True
```

End Sub