



UNIVERSIDAD DE SEVILLA

DEPARTAMENTO DE HISTORIA, TEORÍA Y COMPOSICIÓN ARQUITECTÓNICA

TESIS DOCTORAL

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE  
EDIFICACIÓN DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA  
PARA LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS  
BÁSICAS

RAFAEL SALMERÓN LISSÉN

Arquitecto por la E.T.S.A. de Sevilla

A la paciencia de aquella mano que, como cada verano, tomaba la mía  
y dedicaba su vida a enseñarme a escribir la mía.

*A Rocío, mis padres y mis hermanos.*

## **INDICE GENERAL**

1. INTRODUCCIÓN .....	9
1.2. Referencias .....	15
2. OBJETIVOS, FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA.....	16
2.1. Objetivos .....	16
2.2. Metodología .....	17
2.3. Fundamentos .....	20
2.4. Referencias .....	29
3. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTONICAS BASICAS PARA EL ESTUDIO [ETAPA 1].....	30
3.1. Introducción.....	30
3.2. Estado del arte. Evolución Histórica.....	31
3.3. La Vivienda en España .....	52
3.4. Análisis, descripción y selección de las tipologías arquitectónicas básicas para el estudio .....	53
3.5. Distinción de tipologías edificatorias básicas a través del análisis de la posición del edificio en la parcela.....	55
3.5.1. Caso 1: la parcela ocupa toda la manzana.....	55
3.5.2. Caso 2: la parcela se encuentra anexa a otra (u otras) parcelas .....	56
3.6. Distinción de tipologías edificatorias básicas a través del análisis de la posición de los patios en la parcela .....	57
Referencias.....	63
4. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS CE2, Y CÓMO APLICARLO AL DISEÑO PREVIO DE EDIFICIOS CON EL FIN DE OBTENCIÓN (Y OPTIMIZACIÓN) A LA ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA [ETAPA 2].....	64
4.1. Introducción.....	64
4.2. Estado del arte. ....	65
4.3. Caracterización del procedimiento simplificado de certificación de edificios de viviendas.....	66
5. PROCEDIMIENTOS PARA OBTENCIÓN DE EDIFICIOS DE ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA / APLICACIÓN [ETAPA 3].....	72

5.1. Introducción.....	72
5.2. Generación del cuadro general de <i>partida</i> .....	73
5.3. Posicionamiento del "punto de partida".....	74
5.4. Tipos de movimiento sobre el cuadro general.....	75
5.5. Aplicación del álgebra de indicadores en la toma de decisiones.....	77
5.6. Ejemplo de aplicación.....	78
6. PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DESCRITA MEDIANTE HERRAMIENTA INFORMÁTICA.....	99
6.1. Introducción.....	99
6.2. Descripción de las variables de cálculo.....	102
6.3. Desarrollo de ejemplos de aplicación mediante la herramienta informática planteada.....	108
6.4. Resultados obtenidos / lectura e interpretación.....	114
7. CONCLUSIONES Y POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS.....	129
8. RANGOS DE VALORES UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO.....	135
9. BIBLIOGRAFÍA.....	153
ANEXOS.....	156
ANEXO I: OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS TIPOLOGÍAS DE ESTUDIO.....	157
ANEXO II: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA GENERAL SEGUIDA EN LA QUE SE FUNDAMENTA EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO.....	166
Modelos de calefacción.....	166
Modelos de refrigeración.....	170
ANEXO III: PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PRESTACIONES MEDIAS ESTACIONALES DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO Y CALOR.....	175
Introducción y metodología.....	175
Metodología para edificios de vivienda.....	175
Integración de los factores de ponderación y su utilización en el procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios existentes de viviendas.....	176



Tablas de obtención del IEE a partir de los rendimientos medios .....	178
ANEXO IV: VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE CERTIFICACIÓN ENERGETICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE NUEVA PLANTA CE2. ....	182
ANEXO V: DESCRIPCIÓN DE LOS MECANISMOS DE INSERCIÓN DE ELEMENTOS ESPECIALES EN LA METODOLOGÍA EN QUE SE FUNDAMENTA EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO .....	184
Inclusión de soluciones de cerramientos especiales: muro Solar y muro Trombe ..	184
Inclusión de soluciones de Ventilación Nocturna .....	189
ANEXO VI: BASE DE DATOS DE PRECIOS DE MATERIALES Y DE LA ENERGÍA .....	191
Aislamiento en cerramientos opacos.....	191
Base de datos de ventanas.....	192
Coste de operación.....	194
ANEXO VII: CÁLCULO DEL VAN (VALOR ACTUAL NETO).....	195
Definición del Valor Actual Neto, VAN.....	195
Hipótesis para el cálculo del VAN. ....	196
ANEXO VIII: ESTUDIO DE SOLUCIONES E INVESTIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL DISEÑO Y LA COMPOSICIÓN DE PROTECCIONES SOLARES EN LA ILUMINACIÓN NATURAL, Y EL COMPORTAMIENTO Y RESPUESTA ENERGÉTICA QUE ESTAS GENERAN EN EL INTERIOR DE UN LOCAL.....	200
ANEXO IX: TERMINOLOGÍA .....	237

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Parámetros de Caracterización y Rangos Medios .....	54
Tabla 2 Rangos de Porcentajes de Huecos para cada fachada.....	55
Tabla 3 Cuadro de Variables posibles para la obtención de IEEs de Alta Calificación Energética .....	92
Tabla 4 Cuadro de Variables posibles para la obtención de IEEs de Alta Calificación Energética .....	94
Tabla 5 Tabla de Sistemas de Calefacción según Tipos y IEEs.....	94
Tabla 6 Posición de Patios .....	135
Tabla 7 Determinación del IEEopaco en la Demanda de Calefacción .....	137
Tabla 8 Área y Posición de Patios.....	140
Tabla 9 y Tabla 10 Tablas de Porcentajes de Huecos en Fachadas Principales y de Patios.....	143
Tabla 11 Transmitancias Térmicas para diferentes Soluciones Constructivas .....	145
Tabla 12 Influencia de Puentes Térmicos en cada Zona Climática .....	151
Tabla 13 Influencia de Puentes Térmicos según las soluciones constructivas de ejecución .....	151
Tabla 14 Variación de la Constante en función de la Ventilación Nocturna .....	152
Tabla 15 Parámetros característicos de edificios de viviendas sin patio .....	157
Tabla 16 Parámetros característicos de edificios de viviendas con patio .....	158
Tabla 17 Parámetros característicos de edificios de viviendas con patio (Bloques en H) .....	159
Tabla 18 Porcentaje de Huecos Promedios por fachada .....	159
Tabla 19 Coeficientes obtenidos para las variables del modelo de regresión múltiple de calefacción (por zona climática y tipología) .....	170
Tabla 20 Factores de ponderación para sistemas de calefacción de calderas .....	176
Tabla 21 Factores de ponderación para sistemas de ACS.....	176
Tabla 22 Factores de ponderación para sistemas de calefacción de calderas .....	177
Tabla 23 Factores de ponderación para sistemas de refrigeración .....	177
Tabla 24 Sistemas de calefacción .....	178

Tabla 25 Sistemas de calefacción .....	179
Tabla 26 Sistemas de refrigeración.....	180
Tabla 27 Sistemas de agua caliente sanitaria .....	180
Tabla 28 Sistemas de agua caliente sanitaria .....	181
Tabla 29 Mejora de Transmitancia térmica de fachadas con muros trombe y muro solar.....	187
Tabla 30 Mejora de Transmitancia térmica de fachadas con muros trombe y muro solar según tipología de edificio según su posición en la parcela .....	188
Tabla 31 Variación de la Constante en función de la Ventilación Nocturna .....	190
Tabla 32 Base de datos de Ventanas .....	193



## 1. INTRODUCCIÓN

En tiempos recientes, la arquitectura ha intentado desesperadamente volver a la naturaleza como principal objeto de conocimiento. El arquitecto japonés Toyo Ito, conocido por sus proyectos ambientales incluso en España, véase por ejemplo el parque de la Gavia (Madrid), nos dijo en una entrevista:

"A menos que volvamos a poner la arquitectura y la naturaleza en una relación más estrecha entre ellas, no tenemos ninguna posibilidad de progresar en áreas como la Ecología o la Sostenibilidad.

Una de las cuestiones que solían caracterizar la arquitectura tradicional japonesa, es una estética que contempla la naturaleza y la arquitectura como contigüidades, con una frontera muy tenue y ambigua entre las dos. Esto fue desapareciendo con las ideas occidentales que formaron parte de la modernización emprendida durante la era Meiji (1868-1912)".

Toyo Ito (Arquitectura para capturar la luz. 自然の光を取り込む建築, 2009).

Efectivamente, en el ser más arcano y profundo de Asia Oriental, reflejado en su filosofía daoísta, encontramos este anhelo por una fusión con la naturaleza, de ello dan fiel testimonio los versos del poeta Bai Juyi, de la dinastía Tang.

Al pie del Pico Incensario

Bai Juyi (772-846)

*"Mi nueva cabaña tiene tres vanos y cinco columnas*

*Con escalones de piedra, pilares de madera de Katsura y paredes de bambú*

*El pórtico del Sur deja entrar la radiación del sol de invierno*

*La puerta del Norte acoge los vientos y los meses de verano son frescos*

*La cascada que atraviesa el refugio apenas salpica*

*Los bambúes que al inclinarse acarician la ventana no están alineados*

*La próxima primavera arreglaré la techumbre de paja del ala Este*

*En la sala de papel y persianas de bálago pondré poemas de Meng Guang."*

El poeta está prefigurando muchos de los principios de lo que en el siglo veinte daría en llamarse Arquitectura Bioclimática, pero además está haciendo realidad el verso de Hölderlin que tanto obsesionar a Martin Heidegger:

*<<Lleno de méritos, más poéticamente, habita el hombre sobre esta tierra.>>*

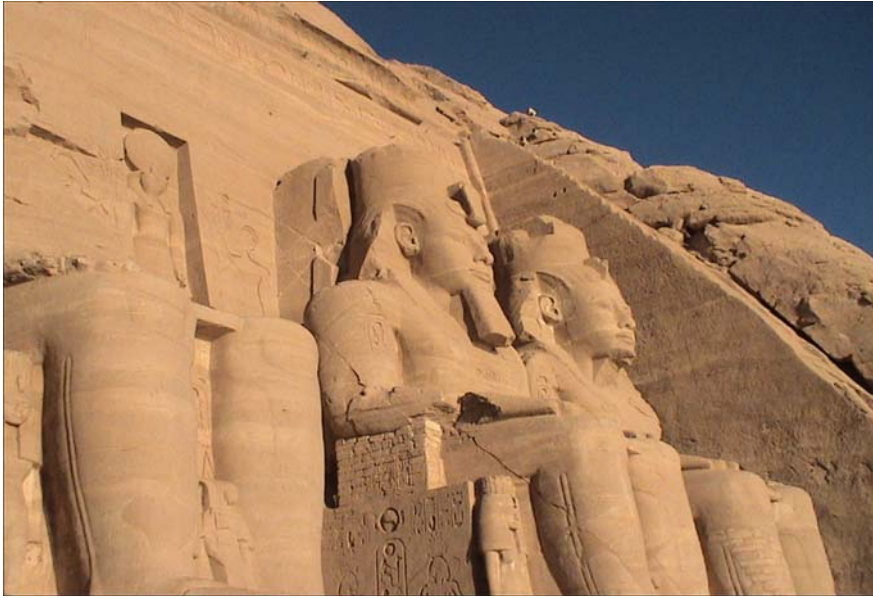
Este singular espacio de predominio de la naturaleza sobre la materia, aparece con claridad en la casa japonesa de la era Meiji, antes citada, que encontramos representada en el cuadro de Renzo Kita, donde se describe la muerte del ministro Tomomi Iwakura. El agua se ha solidificado en bloques de hielo para refrescar.



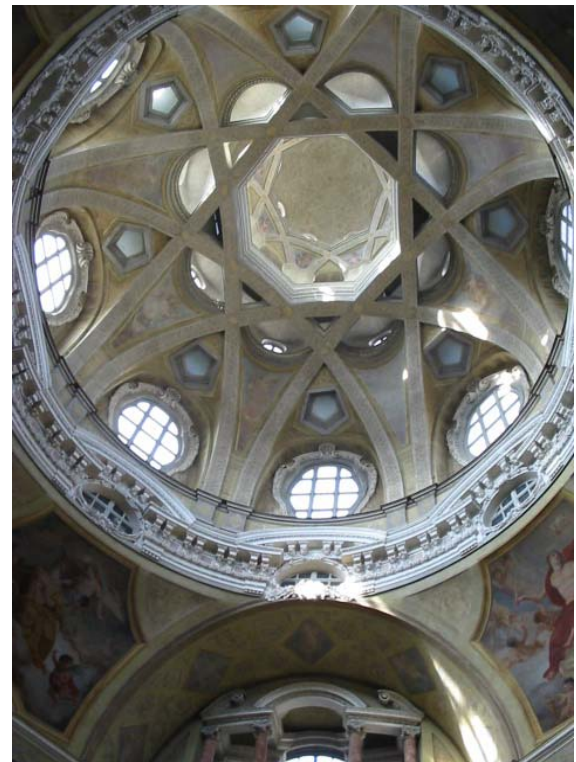
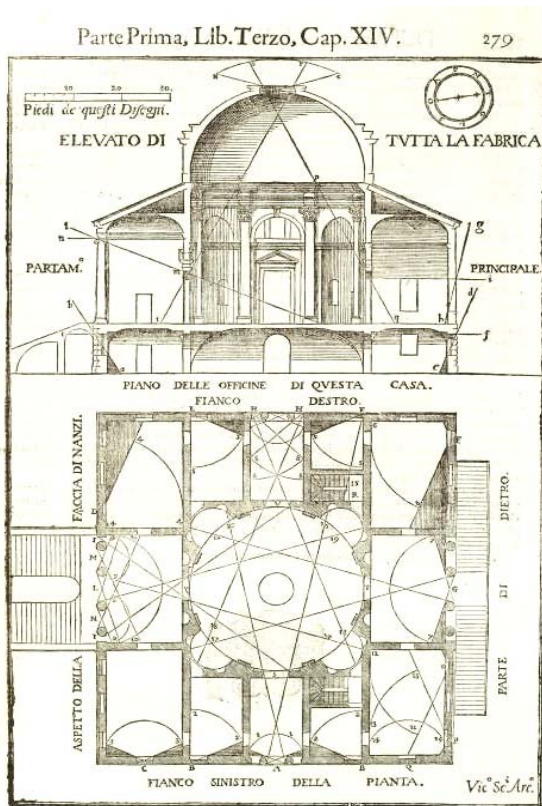
Desde los tiempos más remotos el Ser Humano ha intentado dotarse con un potencial, es decir, aprovisionarse de la energía de la Naturaleza y almacenarla para los momentos de escasez.

Al principio de la Historia, gran parte de esa energía era simplemente materia, como ocurre en muchas de las arquitecturas del antiguo Egipto.

Cuando comienza a valorarse el vacío como espacio en la arquitectura, será necesario almacenar también la energía en el aire, mediante la radiación, la ventilación y la conducción, los principales mecanismos de transmisión de la energía calorífica.



Existen muy curiosos precedentes de esa actitud, algunos de tipo místico, como encontramos en el propio Egipto y otros ya más elaborados, por ejemplo la villa La Rocca Pisana de Scamozzi, ver figura, y las arquitecturas de Guarino Guarini o Carlo Borromini y finalmente la extraordinaria obra de John Soane.





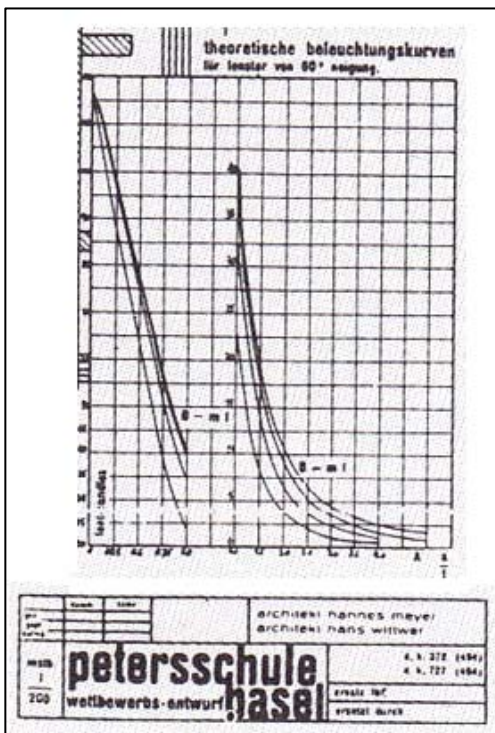
Admirablemente el propio Guarini nos advierte de que, la Magia de los Matemáticos prodigiosos brilla resplandeciente sobre la verdadera y auténticamente Majestuosa Arquitectura. Haciéndose así eco de la profecía que escribiera Pellegrino Tibaldi en hebreo en los frescos del Escorial: todo en la cifra, el peso y la medida.

Ya en el siglo XX, durante el movimiento moderno esta forma de entender la arquitectura resulta mucho más explícita y nos gustaría al efecto destacar el proyecto de Peterschule, obra de Hannes Meyer y Hans Wittwer. En tal proyecto el aprovechamiento adecuado de la energía es uno de los principales objetivos de diseño.

Se dice en él textualmente:

“¡No al anquilosamiento escolar! La meta era especialmente la iluminación por claraboyas de todas las clases (compárense los resultados de los casos 1 y 2)”.

En tales casos 1 y 2, adjuntos, comprobamos que se aplican las expresiones del ingeniero norteamericano Higbie para el cálculo de la iluminación natural.



**rechnerischer nachweis der beleuchtungsstärke aller schulräume**

fall 1) östliches seitenlicht aller klassenzimmer.  
fall 2) shed-oberlicht des zeichensaales.  
fall 3) zweiseitiges seitenlicht der turnhalle.

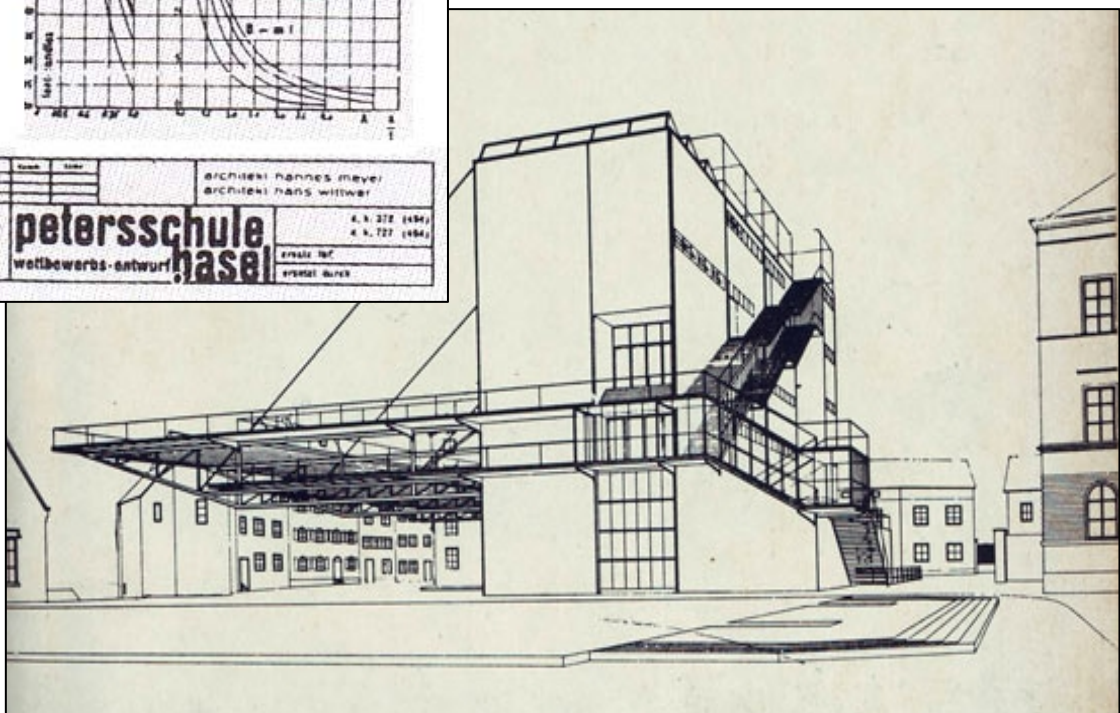
**berechnung der beleuchtungsstärke auf tischhöhe**  
fall 1) klassenzimmer mit senkrechter fensterwand. (östliches seitenlicht.)

berechnet wird nur die beleuchtungsstärke für den ungünstigsten arbeitsplatz (P), dieser befindet sich in der vom fenster entferntesten reihe an der rückwand.

berechnungsverfahren nach higbie:

daten für die formel:  
abstand des punktes P vom fenster  $a = 5,1$  m  
länge des fensters  $m = 10,2$  „  
abstand des oberen fensterrandes von der tischfläche  $f = 2,4$  „  
„ „ unteren „ „ „  $f' = \dots$  „  
beleuchtungsstärke des fensters „ „ „  $b = 100,0$  fcdl.

$$E_p = 50 \left[ \frac{\operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{10,2}{5,1} \right) - \frac{5,1}{\sqrt{5,1^2 + 2,4^2}} \cdot \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{10,2}{5,1^2 + 2,4^2} \right)}{5,1^2} \right] = 486,0 \text{ lx}$$

$$E_{p'} = 50 \left[ \frac{\operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{10,2}{5,1} \right) - \operatorname{tg}^{-1} \left( \frac{10,2}{5,1^2} \right)}{5,1^2} \right] = 435,0 \text{ lx}$$




Aquellos preclaros intentos no fueron por lo general bien comprendidos ni por la sociedad ni por la esfera arquitectónica, la cual, con honrosas excepciones que confirman la regla, ha seguido obviando la cuestión ambiental hasta que ésta ha resultado insostenible.

Somos ya plenamente conscientes de que la arquitectura que apliquemos en el porvenir ha de ser científica y ha de estar profundamente imbricada en la naturaleza en un sentido amplio.

El cambio climático nos acecha, las necesidades energéticas desproporcionadas provocan conflictos bélicos en todo el mundo, si queremos conjurar una catástrofe a escala planetaria debemos dotarnos con herramientas de sabiduría más poderosas aún que las armas.

La declaración del protocolo de Kyoto en 1997 y su entrada en vigor en 2005 con la ratificación por parte de 156 naciones es el primer paso en un esfuerzo internacional para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La principal fuente de emisiones de CO<sub>2</sub> con origen en actividades humanas proviene del uso de combustibles fósiles para la generación de energía eléctrica, térmica o cinética (transporte). Por sectores, los principales emisores son: el transporte, la industria, y los edificios. En particular "el sector de los edificios contribuyó con un 31% de las emisiones mundiales de CO<sub>2</sub> relacionadas con la energía en 1995, y estas emisiones han aumentado a un ritmo de 1,8% anual desde 1971".

En la Unión Europea los edificios son responsables del 41% del consumo de energía, y dentro de este porcentaje, aproximadamente la mitad es empleada para la climatización (calefacción y refrigeración).

Para reducir el consumo de energía y las emisiones de CO<sub>2</sub> en la Unión Europea, de acuerdo con los compromisos adquiridos en el Protocolo de Kyoto, el Parlamento Europeo ha incorporado, entre otros, un instrumento preciso que es la Directiva 2002/91/CE relativa a la eficiencia energética de los edificios.

En el espíritu de la directiva subyace la necesidad de acometer tres grupos de medidas con carácter simultáneo:

- El endurecimiento progresivo de la reglamentación sobre calidad térmica en los edificios de nueva planta.
- La promoción de nuevos edificios cuyo consumo de energía sea netamente inferior al que se deriva de la aplicación estricta de la reglamentación. Estos edificios tendrán un reconocimiento oficial como edificios de alta eficiencia energética o edificios de clase A.
- En el sector de los edificios existentes, la directiva establece la necesidad de su certificación energética y la identificación, para cada edificio, de una relación de medidas de mejora que, dentro de un contexto de viabilidad

técnica y económica, supongan un incremento significativo de la eficiencia de dicho edificio.

En el Marco normativo Español:

El primer punto ya se lleva a cabo desde la política activa de revisión de los actuales límites normativos de construcción, marcados por el código técnico de la edificación y sus actualizaciones periódicas, de inminente aparición en este presente año 2011.

En cuanto al tercer punto, también se han tomado ya las primeras decisiones con la aparición de la escala de certificación para edificios existentes, y en breve también, con los procedimientos de certificación específicos para estos edificios.

El presente trabajo, incide sobre el segundo punto "promoción de edificios de nueva planta cuyo consumo de energía sea netamente inferior al que se deriva de la aplicación estricta de la reglamentación".

En él se presentan varios modelos de optimización, con los que se procede a simular la energética edificatoria. A su vez, ofrece información sobre todos los parámetros relevantes y con significado físico en el comportamiento global de cada solución arquitectónica concreta. Además, posee un nivel de precisión suficiente, que permite estimar las mejoras en el comportamiento global.

Ésta es precisamente la razón que nos mueve a realizar la Tesis, ayudar a los diseñadores, de un modo objetivo y creativo, impulsado por la simulación informática, a producir edificios energéticamente eficientes y plenamente responsables con su entorno.

Mucho de ello se dejaban traslucir en la conversación entre dos emperadores míticos de la Antigua China, transcrita por el filósofo Zhuangzi.

- *En los días antiguos, Shun preguntó una vez a Yao, "¿Regente del Cielo, cuál es el designio de vuestra mente?"*
- *"Yo no desdeño a los infortunados, no postergo a los pobres, me lamento por aquellos que mueren; siento afecto por los huérfanos y simpatía por las viudas," replicó Yao.*
- *"Encomiable, pero no es esta la verdadera grandeza," dijo Shun*
- *"¿Qué debería hacer entonces?" preguntó Yao.*
- *"La virtud del cielo en acción produce quietud. El sol y la luna brillan y las cuatro estaciones siguen su curso. El día y la noche mantienen su orden constante, y cuando las nubes se congregan, cae la lluvia", contestó Shun.*
- *"¡Entonces he causado sólo aflicción! Vos aspiráis a estar en armonía con el Cielo mientras que yo lucho por estar en armonía con los Hombres", dijo Yao.*

Desde la antigüedad, el cielo y la tierra han sido considerados grandes. El Emperador Amarillo, Yao y Shun los veneraron. [Zhuangzi. Capítulo 13].

## 1.2. Referencias

\*GEO Anuario 2006/ Annual GEO 2006, UNEP/Earthprint, 1 Jun 2006

\*IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, "Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático").Tercer Informe de Evaluación Cambio climático 2001, Mitigación

\*European Commission DGXVII Buildings Overview . "Market Overview and Trends" 2004. Diario Oficial de las Comunidades Europeas . Directiva 2202/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

\*European Commission DGXVII Buildings Overview . "Market Overview and Trends" 2004. Diario Oficial de las Comunidades Europeas . Directiva 2202/91/CE del parlamento europeo y del consejo de 16 de diciembre de 2002 relativa a la eficiencia energética de los edificios.

## 2. OBJETIVOS, FUNDAMENTOS Y METODOLOGÍA

### 2.1. Objetivos

El objetivo principal de la presente tesis consiste en crear y desarrollar un protocolo para evaluar la oportunidad de utilización de diseño de edificios de tipologías básicas enfocados a la alta calificación energética, así como una herramienta simplificada para evaluar y dimensionar pros y contras de decisiones finales de diseño establecidos en el caso de resultar la evaluación anterior positiva a los ojos del proyectista.

Durante el transcurso del proceso necesario para conseguir este objetivo surgen dificultades debidas a los siguientes motivos:

1. La gran cantidad de variables y conceptos involucrados en cada caso específico y la fuerte interacción entre ellos.
2. El hecho de que las decisiones de diseño son tomadas en diferentes niveles y, en la mayoría de los casos, sin seguir un orden prescrito.

Debido a esto, sería una tarea desproporcionada tratar de optimizar la implementación del diseño en un cierto clima y para un edificio determinado utilizando directamente una herramienta de evaluación final, a modo de etiquetado energético, como hoy en día se evalúa la energética edificatoria; se busca únicamente el cumplimiento legal de las prescripciones, sin disponer previamente de una metodología rápida y simple de prediseño, evaluación y afine de las soluciones tomadas.

La aproximación conceptual general realizada consiste en analizar las tipologías edificatorias básicas, tan desarrolladas a lo largo de la historia de nuestras ciudades; esto es parametrizar sus características principales y los rangos de valores que pueden tomar según sus ubicaciones, localidades, orientaciones.... calcular sus calificaciones energéticas según los procedimientos actuales de calificación energética y generar un sistema simple para el análisis y toma de decisiones rápidas de forma que, cuando sea posible:

1. Se establezcan las relaciones formales entre los distintos comportamientos individuales de forma que se pueda conocer una razonable estimación de su comportamiento conjunto.
2. Se establezca un procedimiento simple desde el que obtener mediante filtros previos, posibles soluciones desde las que optimizar el diseño en pocos minutos.

Todo el proceso de caracterización individual y global se ha realizado bajo una metodología común -que describiremos a continuación-, de forma que a la hora de

definir las variables relacionadas con el potencial de mejora energética, sea análoga a todas las secciones desde las que se evalúa la calificación energética, (calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria) tanto en demanda como en los tipos de sistemas que satisfacen la demanda anterior.

Esto es especialmente útil desde el punto de vista del proyectista, ya que conociendo y entendiendo el significado de las definiciones, puede aplicarlo a cualquier técnica de las descritas. Este punto es particularmente interesante, ya que de esta forma el proyectista será capaz de evaluar, no sólo el impacto de una decisión de diseño, sino que además puede comparar diferentes técnicas para un mismo edificio en una localidad, permitiéndose la optimización económica de rentabilidad entre sobrecostos de cada medida y la solución final adoptada.

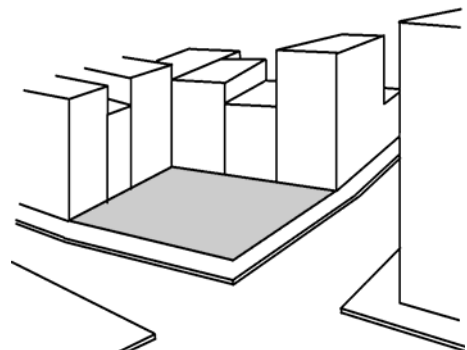
En definitiva, con el fin de promover la edificación de alta calificación energética se pretende desarrollar una metodología de diseño común adaptada al proceso de toma de decisiones, y que permita comparar diferentes opciones en un contexto amplio orientado no solo a arquitectos, sino también a industriales, constructores y responsables de política energética.

## 2.2. Metodología

El arquitecto no conoce a priori qué tipología tomará finalmente su proyecto, ni qué soluciones constructivas adoptará finalmente y, mucho menos, si tendrá un tipo de sistemas de climatización u otro.

El procedimiento planteado genera, desde un número mínimo de datos que sí conoce el arquitecto a priori, una combinatoria de casos reales que resolucionan después, facilitando respuestas iniciales a tener en cuenta para el diseño definitivo del proyecto. Estos datos de partida del arquitecto son:

- Localidad en la que se ubica el futuro edificio.
- Superficie de la parcela y longitudes de cada lado.
- Posición de la parcela en la manzana.
- Orientación de la "fachada principal" marcada por el planeamiento.
- Número de plantas máximo que puede tener el edificio.



Por consiguiente, también conocemos:

- Posición y altura de los edificios colindantes y próximos a nuestra parcela de estudio, y que consideraremos datos para nuestros casos.

Todos estos valores son variables independientes fijas para nuestro procedimiento. A partir de éstos se definirá una tipología, una superficie de planta, una longitud de fachada principal pero varios números de plantas posibles, varios porcentajes de huecos por fachadas y orientaciones, varios tipos de soluciones constructivas, así como varios sistemas de clima y producción de agua caliente sanitaria.

Se han caracterizado las tipologías edificatorias básicas, incluyendo la delimitación de las variables independientes de cada tipología edificatoria, junto a los valores y rangos posibles que pueden tomar las variables dependientes de estos; hablamos del porcentaje acristalado por fachadas en función de la orientación, número de plantas, sistemas constructivos posibles, tipos de ventanas (carpinterías y vidrios), puentes térmicos generados, sombras propias y remotas del edificio y su entorno y determinación de los sistemas de climatización y generación de agua caliente sanitaria que puede poseer un edificio.

Se genera así una combinatoria de edificios viables para su análisis. En concreto, para cada edificio se generan 48384 casos para cada tipología y área de planta en una localidad concreta.

Por otro lado, la metodología general comprende actividades repartidas en seis tareas diferentes:

- Selección de los casos base (a partir de los parámetros iniciales conocidos) y generación de combinatorias de variables a modificar (generación de los casos a evaluar para cada elección de valores iniciales del grupo de las variables independientes).
- Obtención de la calificación energética de los casos propuestos mediante el procedimiento simplificado de certificación energética de edificios de nueva planta Ce2.
- Análisis del coste de ciclo de vida de cada una de las soluciones anteriores.
- Doble filtrado de resultados que satisfacen las premisas iniciales, filtrado tanto por la calificación energética final deseada como por el coste de ciclo de vida menor de los que cumplen la primera condición.
- Generación de casos definitivos con las modificaciones finales y evaluación de estos.
- Definición final del edificio.

Las tres tareas principales que se abordan en la presente tesis y se describirán más detalladamente a continuación son, en primer lugar, la caracterización de las tipologías edificatorias básicas, con la determinación de los valores de las variables

independientes y establecer tanto los rangos de valores de variables dependientes como las combinaciones posibles y no posibles para cada conjunto de casos.

En segundo lugar, el análisis de los actuales procedimientos para la calificación energética de edificios residenciales de nueva planta.

Y en tercer lugar, la propuesta de generación de una herramienta para el acercamiento al diseño de edificios de alta calificación energética, basada en el procedimiento simplificado de certificación energética de edificios de nueva planta mediante un procedimiento de evaluación de casos masivos.

Además de la calificación energética final, este procedimiento aborda el cálculo de los costes de las medidas facilitando un dato más para la toma de decisiones.

El análisis del sobrecoste ( $\text{€/m}^2$ ) no resulta clarificador en medidas de mejora energética de edificios ya que el ahorro que producen estas sobre el consumo no se ve en los estudios de sobrecostes iniciales de las medidas, sino con el análisis del coste del ciclo de vida de un periodo amplio de años (en este caso se ha tomado el periodo de treinta años) donde aparece reflejado el consumo en un periodo de tiempo amplio, y por tanto, la rentabilidad de ciertas soluciones.

Con gran generalidad podemos decir que para la caracterización de las tipologías edificatorias básicas las actividades que se han desarrollado son las siguientes:

1. Desarrollo de un modelo de referencia, que es un modelo con las mínimas hipótesis, muy detallado y cuya utilidad es comprobar la validez de simplificaciones posteriores así como de los resultados y calificaciones que se obtienen con la herramienta informática.
2. Desarrollo de modelos simplificados, en los que la simplificación es puramente algorítmica, pudiendo afectar a la formulación, a la resolución o a ambas. Se derivan de hipótesis adicionales sobre el modelo de referencia y se utilizan para la realización de análisis de sensibilidad; estos dan lugar a la siguiente etapa.
3. Realización de análisis de sensibilidad y estudios paramétricos de las variables de diseño. Estos estudios permiten identificar las variables relevantes de cada técnica y el rango típico de variación de las mismas para un comportamiento aceptable. Estos estudios permiten asimismo la comprensión fenomenológica del comportamiento de cada técnica, el carácter positivo o negativo de las diferentes actuaciones y la influencia de diversas estrategias de operación.

Los estudios citados pueden hacerse alternativamente con los modelos de referencia o con los modelos simplificados y se realizan para una amplia gama preestablecida de condiciones climáticas, en principio para todas las zonas climáticas peninsulares.

4. Análisis del comportamiento energético de las combinaciones iniciales generadas desde el modelo de referencia de partida.

5. Realización de una segunda serie de estudios de sensibilidad en los que se analizan distintas combinaciones de diseño, para varias soluciones de las variables dependientes de cada tipología de edificios. El objetivo de estos estudios es generar una base de datos que permita identificar las medidas efectivas en la calificación energética final del edificio. Esta medida se materializa en la cuantificación de las eficiencias dando lugar a la siguiente y última etapa.

6. Definición final de las características básicas de los edificios que verifican su eficiencia energética mediante filtrado de las soluciones viables a ojos del arquitecto proyectista (como calidades de las soluciones constructivas adoptadas, posibles sistemas de climatización, posible número de plantas...) que validan la incógnita inicial, edificios con alta calificación energética.

### **2.3. Fundamentos**

El procedimiento desarrollado admite numerosas variantes particulares en función de los conocimientos previos del proyectista y de la tipología de edificios que se esté considerando.

No obstante, comentaremos en este punto los fundamentos de las metodologías de estudio de la calificación energética de edificios consideradas en el ámbito de esta tesis, para proporcionar al lector una visión general del desarrollo de la misma. Estas características que a continuación se presentan pueden encontrarse de forma más detallada en el Documento Reconocido de Procedimiento Simplificado de certificación energética de edificios de vivienda Ce2 [1]. Por último, y antes de comenzar su descripción, aclararemos que estos fundamentos son el origen de la metodología seguida en el desarrollo de la presente tesis y que se describe en el siguiente apartado.

Diremos, en primer lugar, que el procedimiento de calificación energética, para edificios de nueva planta es posterior al cumplimiento del código técnico, y por tanto al cumplimiento del actual CTE\_HE compuesto por cuatro apartados diferenciados:

CTE\_HE1, Limitación de la demanda de energía, que comprueban las calidades constructivas de cada cerramiento del edificio, sus transmitancias térmicas.

CTE\_HE2 Cumplimiento de calidad de los sistemas de climatización, donde se verifican los rendimientos de los sistemas proyectados.

CTE\_HE3 Cumplimiento de Eficiencia energética de los sistemas de iluminación, que evalúa la calidad de los sistemas de iluminación y sus rendimientos.



CTE\_HE4 Contribución solar de agua caliente Sanitaria, donde se verifica que, según la localidad, la generación de agua caliente sanitaria se genere mediante colectores solares principalmente, o justificar su sustitución por otros sistemas de energías renovables.

Donde no se evalúa la demanda energética del edificio (aunque ya se puede conocer) sino el cumplimiento de las características mínimas que debe cumplir la envuelta térmica del edificio y sus sistemas, bien sean de climatización, iluminación de zonas comunes, o para la generación de agua caliente sanitaria.

Por tanto, se parte de la idea de que el edificio a proyectar al menos debe cumplir esos factores, y que por tanto pueden ser datos de partida en nuestro estudio.

La calificación energética de un edificio depende en primera aproximación de tres conceptos relacionados:

**El clima**, que proporciona el escenario de comparación, con diferentes severidades de periodos fríos y cálidos a lo largo del año según donde nos encontremos.

**El edificio**, en términos de su demanda de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, tanto en valores absolutos estacionales como en la distribución en frecuencias horarias y diarias o en términos finalmente de la estructura del perfil de cargas, muy dependiente del diseño de éste, su construcción y su ubicación.

**Los sistemas de climatización del edificio**, cuyo diseño y eficiencia miden la habilidad de usar lo que el clima permite para satisfacer lo que el edificio necesita.

Estos tres conceptos se concentran en dos grandes grupos en el análisis del comportamiento del consumo energético de los edificios:

Análisis de la Demanda Energética: el edificio (considerando la forma, su orientación, la posición frente a su entorno y las soluciones constructivas adoptadas) tiene, según el clima, una demanda de calefacción, de refrigeración y de agua caliente sanitaria.

Análisis de los sistemas de clima y generación de agua caliente sanitaria: según sus energéticos (para medidas de emisiones de CO<sub>2</sub> y el rendimiento de las máquinas).

El verdadero valor del procedimiento simplificado para la calificación energética de edificios de viviendas Ce2, es la simplificación del cálculo del comportamiento energético de edificios por parte del Profesor Álvarez, el profesor Salmerón y profesor Sánchez de la Flor, que parten de las correlaciones obtenidas para el

estudio del comportamiento energético de los edificios residenciales de la generación del procedimiento general de calificación energética de edificios de nueva planta para el MITYC.

Se parametrizan las demandas de calefacción y refrigeración de los edificios de viviendas de la siguiente manera.

Para el análisis de la Demanda de Calefacción<sup>1</sup>:

$$DC_{mes} = \left\{ \begin{array}{l} a_{mes} \cdot \left( \frac{Um}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + b_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + \\ + c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + d_{mes} \end{array} \right\}$$

$$\text{siendo: } a_{mes} = a_1 + a_2 \cdot SCI_{mes} \quad \dots \quad b_{mes} = b_1 + b_2 \cdot SCI_{mes} \quad \dots \quad c_{mes} = c_1 + c_2 \cdot SCI_{mes}$$

$$d_{mes} = d_1 + d_2 \cdot SCI_{mes}$$

Y para el análisis de la Demanda de Refrigeración<sup>2</sup>:

$$DR_{mes} = \left\{ \begin{array}{l} a_{mes} \cdot \left( \frac{Um_{sin\_cubierta}}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + b_{mes} \cdot (Ucubierta) \cdot \left( \frac{Acubierta}{Aacondicionada} \right) \cdot GD_{mod\_cub_{mes}} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + d_{mes} \cdot (ventilación\_noche) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{noche_{mes}} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + e_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + f_{mes} \end{array} \right\}$$

siendo:

$$a_{mes} = a_1 + a_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad b_{mes} = b_1 + b_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad c_{mes} = c_1 + c_2 \cdot SCV_{mes}$$

$$d_{mes} = d_1 + d_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad e_{mes} = e_1 + e_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad f_{mes} = f_1 + f_2 \cdot SCV_{mes}$$

<sup>1</sup> Estas ecuaciones están ampliamente descritas en el Anexo II de la presente tesis.

<sup>2</sup> Estas ecuaciones están ampliamente descritas en el Anexo II de la presente tesis.

### **Correlación para el cálculo de la Demanda de calefacción.**

Para la estimación de la demanda de calefacción se ha optado por el uso de la correlación desarrollada por el Grupo de Investigación de Termotecnia de la Escuela Superior de Ingenieros de la Universidad de Sevilla para la obtención de la escala de calificación energética de edificios de nueva planta, que puede consultarse en su versión de documento de difusión en la página web del Ministerio de Industria.

Esta ecuación debe usarse una única vez para todo el edificio y todos los meses de calefacción. En la obtención de esta correlación se han considerado como meses de calefacción los meses de enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.

La demanda de calefacción calculada con esta ecuación tiene un valor positivo.

El significado de cada término es el siguiente:

- El primer término recoge la influencia del nivel de aislamiento del edificio, de su compacidad y del clima, a través de los grados-día.
- El segundo término recoge la influencia del nivel de acristalamiento del edificio, y del clima, a través de la radiación solar.
- El tercer término recoge la influencia del nivel de ventilación del edificio, dependiente del uso de este y el número de locales específicos que posee según la sección CTE HS\_3 del Código Técnico de la Edificación.
- En último lugar, se ha añadido un término independiente que recoge la influencia de todos los demás términos de los que depende la demanda de calefacción, como son las fuentes internas.

Por otra parte, los parámetros que intervienen son los siguientes:

- Transmitancia térmica media del edificio dividido por la compacidad en  $W/m^3 K$ .

$$\left( \frac{Um}{V/At} \right)$$

- Área de ventanas dividido por el área acondicionada.

$$\left( \frac{Av}{Aa} \right)$$

Las variables climáticas en esta correlación son:

- $g$ : Grados- día de invierno de la localidad en el periodo considerado calculados en base 20
- $ASSE$ : Área de ventanas en orientaciones no Sur equivalentes. Se realiza una equivalencia mediante un factor corrector de las ventanas no orientadas al sur para el análisis de la captación solar directa. Si una ventana al Sur recibe una radiación unidad, la no Sur recibe una radiación igual a  $1 \times F.Corrector$  (según la orientación).
- $I_s$ : radiación global acumulada sobre superficie vertical con orientación sur en el periodo considerado en  $kWh/m^2$ .

Usando estas variables y con las unidades indicadas resultan que las constantes  $a$ ,  $b$  son adimensionales. La constante  $c$  tiene las mismas unidades que la demanda de calefacción, es decir,  $kWh/m^2$ .

### **Correlación para el cálculo de la Demanda de refrigeración.**

Para la estimación de la demanda de refrigeración se ha optado por el desarrollo de una correlación que, dados los datos de los que se disponen, se obtiene para toda la vivienda en cada uno de los meses de verano (Junio, julio, agosto y septiembre).

La demanda de refrigeración calculada con esta ecuación tiene un valor positivo.

El significado de cada término es el siguiente:

- El primer término recoge la influencia del nivel de aislamiento del edificio (sin tener en cuenta la cubierta), de su compacidad y del clima, a través de los grados-día.

$$\left( \frac{Um_{\text{ sin\_ cubierta}}}{V/At} \right)$$

- El segundo término recoge la influencia del nivel de aislamiento de la cubierta del edificio, y del clima, a través de los grados-días modificados de cubierta. Tiene signo positivo porque la demanda de refrigeración es positiva siguiendo el mismo criterio de signos del programa LIDER. En total, a lo largo de todo el día la cubierta aumenta la demanda de refrigeración.

$$(U_{\text{ cubierta}}) \cdot \left( \frac{Ac_{\text{ cubierta}}}{A_{\text{ acondicionada}}} \right)$$

- El tercer término recoge la influencia de la ventilación nocturna del edificio, y del clima, a través de los grados-días. Para el cálculo de la demanda de refrigeración se ha calculado este término para el periodo de la 1 a las 8 horas (noche). Durante la noche la ventilación disminuye la demanda de refrigeración. Por ese motivo, tiene signo negativo.
- El cuarto término recoge la influencia de la ventilación nocturna del edificio, y del clima, a través de los grados-días. Para el cálculo de la demanda de refrigeración se ha calculado este término para el periodo de la 1 a las 8 horas (noche). Durante la noche la ventilación disminuye la demanda de refrigeración. Por ese motivo, tiene signo negativo.
- El quinto término recoge la influencia del nivel de acristalamiento del edificio, y del clima, a través de la radiación solar. Tiene signo positivo, es decir, contribuye a aumentar la demanda de refrigeración.

$$\left( \frac{Av}{Aa} \right)$$

- En último lugar, se ha añadido un término independiente que recoge la influencia del resto de parámetros del edificio no contemplados anteriormente, y que además permita aumentar los valores de la demanda de refrigeración, situándolos de esta forma, del lado de la seguridad, es decir, por encima de los valores reales dados por LIDER.

Por otra parte, los parámetros que intervienen son:

- Transmitancia térmica media del edificio dividido por la compacidad en  $W/m^3 K$ .

$$\left( \frac{Um}{V/At} \right)$$

- Transmitancia térmica media de cubierta en  $W/m^2 K$

$$(Uc)$$

- Área de cubierta dividida por el área acondicionada

$$\left( \frac{Ac}{Aa} \right)$$

- Área de ventanas dividido por el área acondicionada.

$$\left( \frac{A_v}{A_a} \right)$$

- (*ventilación*): número de renovaciones hora por ventilación y/o infiltración en h-1. (NOTA: se ha referido este término al periodo de la 1 a las 8 horas (noche)).
- (*altura*) es la altura media de los espacios. En las simulaciones realizadas todos los espacios tienen una altura de 3 m.
- $r \times C_p$ : densidad del aire por su calor específico. Para los casos calculados se ha tomado un valor de 1.2 kJ/m<sup>3</sup>K.

Las variables climáticas en esta correlación son:

- *g*: Grados- día de invierno de la localidad en el periodo considerado calculados en base 20.
- *ASSE*: Área de ventanas en orientaciones no Sur equivalentes. Se realiza una equivalencia mediante un factor corrector de las ventanas no orientadas al sur para el análisis de la captación solar directa. Si una ventana al Sur recibe una radiación unidad, la no Sur recibe una radiación igual a 1 x F.Corrector (según la orientación).
- *Is*: radiación global acumulada sobre superficie vertical con orientación sur en el periodo considerado en kWh/m<sup>2</sup>.
- *GD<sub>mod</sub>*: grados día modificados de verano de la localidad y mes considerado calculados en base 25. Esta modificación consiste en el cálculo de los grados día a partir de las temperaturas sol-aire sobre cubierta en vez de a partir de la temperatura de aire.
- *GD<sub>noche</sub>*: grados día de verano de la localidad y mes considerado calculados en base 25. (NOTA: se ha calculado este término en el periodo de la 1 a las 8 horas (noche) calculados como grados día de invierno).

Se simplifica el proceso de cálculo mediante el uso de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE, en adelante) tanto en demandas como en sistemas. Los IEE son un cociente entre el valor real de un caso concreto y el valor de referencia establecido en las normativas de aplicación y que definiremos en adelante como el “álgebra de los indicadores”.

$$C = \frac{D}{\eta} \quad C_{referencia} = \frac{D_{referencia}}{\eta_{referencia}}$$

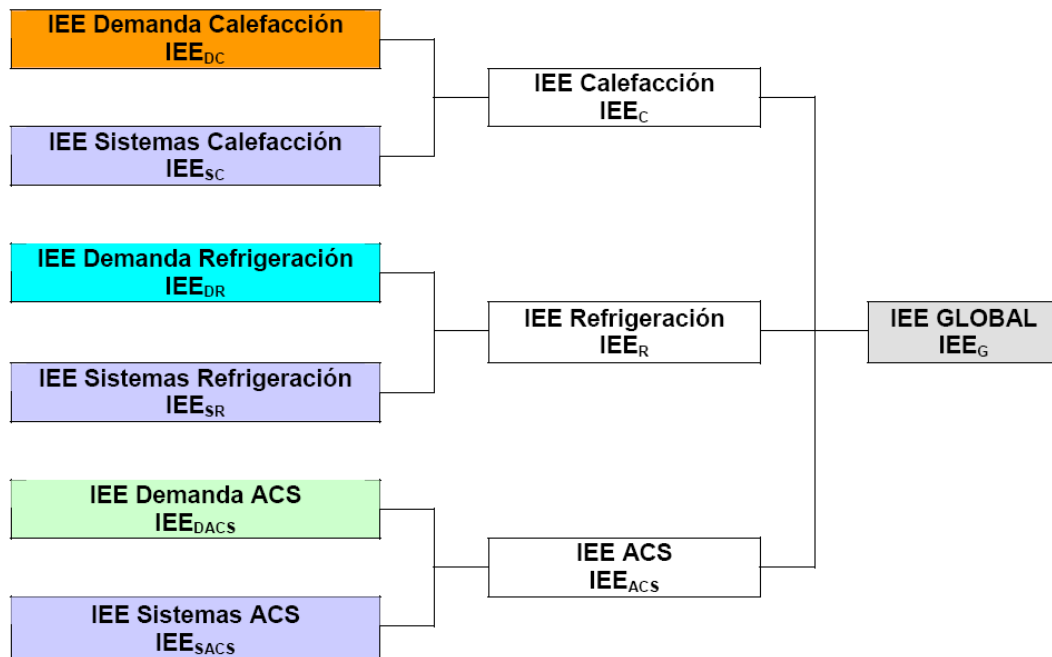
$$\frac{C}{C_{referencia}} = \left( \frac{D}{D_{referencia}} \right) \cdot \left( \frac{\frac{1}{\eta}}{\frac{1}{\eta_{referencia}}} \right)$$

**IEE = IEE<sub>D</sub> IEE<sub>S</sub>**

**D: Demanda**

**S: Sistema**

El procedimiento analiza tanto las demandas como los rendimientos de los sistemas para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria según el esquema siguiente:



La caracterización de los conceptos anteriores y de su interacción se define en términos de eficiencias que da lugar a la siguiente expresión:

$$IEE_G = IEE_C \phi_C + IEE_R \phi_R + IEE_{ACS} \phi_{ACS}$$

Los términos independientes que multiplican a los índices de eficiencia energética de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria son los coeficientes de reparto, que marcan cómo se reparte la energética global del edificio en función de su tipología y su ubicación (zona climática).

Estos coeficientes de reparto son fijos en el procedimiento simplificado Ce2, como vemos en el siguiente cuadro sacado del procedimiento, por lo que podemos conocer a priori cuáles son los aspectos fundamentales que se deben atajar al buscar una alta calificación energética.

**CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL  $IEE_G$**

	IEE demanda (a)	IEE sistemas (b)	IEE (c) = (a) x (b)	Coefficientes de reparto (d)	(e) = (c) x (d)
Calefacción	$IEE_{DC} =$	$IEE_{SC} =$	$IEE_C =$	0,42	
Refrigeración	$IEE_{DR} =$	$IEE_{SR} =$	$IEE_R =$	0,42	
ACS	$IEE_{DACs} =$ (100-contribución solar) / 50 =	$IEE_{SACS} =$	$IEE_{ACS} =$	0,16	
<b>IEE Global <math>\Sigma</math> (f)</b>					

De este modo, se establece un procedimiento en tres etapas; suponiendo, a efectos explicativos, que se está considerando un edificio de viviendas en bloque, las fases serían las siguientes:

**Etapas 1: Definición del edificio.**

Se trata en primer lugar de delimitar el intervalo de valores que puede adquirir el edificio finalmente y definirlo geométricamente, constructivamente, y determinar posibles soluciones de sistemas de clima y generación de agua caliente sanitaria que puede poseer el edificio.

Pero, como se dijo anteriormente, el arquitecto no conoce a priori qué tipología tomará finalmente su proyecto, ni qué soluciones constructivas adoptará finalmente, y mucho menos si tendrá un tipo de sistemas de climatización u otro.

**Etapas 2: Análisis pormenorizado de los procedimientos de calificación energética.**



El procedimiento seleccionado Ce2 genera, desde un número reducido de datos, una calificación energética del edificio objeto de una forma rápida y sencilla, facilitando además la obtención de respuestas de comportamientos iniciales que tener en cuenta para la mejora energética del diseño definitivo del proyecto.

El procedimiento de calificación energética seguido proporciona instrumentos para la mejora aproximada de todos los parámetros anteriores y valora cada caso concreto en términos de las mismas.

Etapas 3: Obtención de resultados, toma de decisiones y análisis del proyecto final.

El procedimiento planteado genera, desde un número mínimo de datos que sí conoce el arquitecto a priori, una combinatoria de casos reales que resuelve después, facilitando respuestas iniciales que tener en cuenta para el diseño definitivo del proyecto.

El procedimiento de diseño desarrollado proporciona instrumentos para el cálculo aproximado de todas las definiciones anteriores y valora cada caso concreto en términos de las mismas. La inspección de lo que se ha obtenido frente a lo que se hubiera podido obtener guía claramente el proceso de toma de decisiones que conduce a la optimización del conjunto.

## 2.4. Referencias

\*MITYC. *"Real Decreto para la Certificación Energética de Edificios de nueva planta, RD\_47/2007"*, 2007

\*MITYC. *"Documento Reconocido Procedimiento Simplificado de Certificación Energética de Edificios de Vivienda de Nueva Planta Ce2"*, 2009

\*Zabala I., Díaz S. y Aranda A., *"Manual Práctico De Certificación Energética De Edificios"*, ISBN-978-84-92521-61-6, 2008

## **3. ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTONICAS BASICAS PARA EL ESTUDIO [ETAPA 1]**

### **3.1. Introducción**

Los edificios de vivienda residenciales han sido motivo de estudio y aplicación arquitectónica desde las primeras edades del hombre. Han sido modelos repetidos y depurados a lo largo de la historia y aun son utilizados hoy en día.

Por tanto, parece de interés para este estudio la capacidad de analizar la influencia de "la forma" en la energética edificatoria ya que es posible la tificación de estos modelos; se pueden analizar y describir las características fundamentales de estos diseños a través del estudio de la evolución histórica de estos.

El análisis temporal de las diferentes apariciones y consolidación de edificios residenciales ayuda a comprender la arquitectura como parte de la historia, permitiendo generar modelos que han sido reproducidos en mayor número de ocasiones y que ya son reconocibles en sí mismos. Son aquellos que conocemos como tipologías arquitectónicas.

Como arquitecto es necesario tomar conciencia del pasado racionalmente considerado como precedente. La arquitectura es un testimonio que nos permite aproximarnos a otras épocas y nos habla de sus formas de vida, usos y costumbres que prevalecieron en ellas.

Así, lo que se busca es examinar la arquitectura antigua no con la idea de copiar sus formas, sino con la esperanza de enriquecer ampliamente nuevas sensibilidades que son producto de nuestros días. La tipología como estrategia de substracción, reducción cuantitativa, ausencia programada de todo lo que es irrepetible y único.

Hablar de tipologías es hablar de procesos de análisis e interpretación, en donde la Hermenéutica se convierte en herramienta básica para la descripción de la arquitectura, y el Análisis, marca las pautas, descompone el objeto para confirmar o desconformar la interpretación.

El valor y la función de los tipos son los que explican las formas arquitectónicas en relación a un simbolismo. Así, la arquitectura es la cristalización de tendencias de cada época, el espíritu humano, el sentimiento por su forma, la voluntad y la moral por la utilidad y la ciencia por la técnica; es la creación de espacios estéticos en respuesta a necesidades materiales y espirituales del hombre.

Es importante tener conciencia del contexto, aprender a descubrir, comprender e interpretar los modelos de referencia propios. El territorio histórico a partir de sus componentes, es un recurso de referencias y sugerencias a la definición de nuevos elementos de acuerdo a las necesidades actuales o nuevas exigencias sociales.

Desde este contexto la historia no solo marca una identificación de hechos, sirve para la identificación o tendencias de propuestas de intervención de acuerdo a problemáticas actuales.

### **3.2. Estado del arte. Evolución Histórica**

El desarrollo histórico de las viviendas en Europa es un fenómeno que está estrechamente ligado al crecimiento de la industria. En España este proceso es análogo pero de forma retardada o inexistentes en ciertos periodos temporales por múltiples circunstancias, principalmente la tardía influencia europea y el auto-aislamiento de las corrientes pensadoras en algunas épocas de conflictos mundiales y otros avatares.

Aun así, los crecimientos urbanísticos serán igualmente reflejados en las grandes capitales españolas y por defecto en el resto de las ciudades, dándose en muchos casos una amplificación de la diversidad en las formas de asentamiento, remarcándose en zonas de condiciones particulares, bien sean climatológicas (Aéreas de Alta montaña) o por sus formas de vida y entorno (casas cueva de granada, viviendas de pescadores en las costas, viviendas de pastores en zonas montañosas..) donde la función da un sentido especial a la forma y a los procesos y sistemas de construcción.

Por tanto, conocer que sucedió en Europa nos marcará las líneas de la evolución de la Edificación en España.

#### **1850 - 1918 MISERIA URBANA Y COLONIAS INDUSTRIALES**

El desarrollo histórico de las casas en hilera en Europa es un fenómeno que está estrechamente ligado al crecimiento de las colonias industriales construidas por los patronos para sus obreros.

Los patronos consideraban muy ventajoso que sus obreros viviesen cerca del puesto de trabajo. Y, de paso, los pequeños huertos podían servir como fuente de suministro de verduras en épocas de necesidad. No obstante, lo que resulta destacable es que tales puntos de vista no aparecieran en las sociedades socialistas, cuya ideología dictaba que el obrero no poseía propiedad privada.

Las condiciones de las ciudades europeas de mediados del siglo XX no eran las más propicias para que los empresarios promovieran colonias con jardines para

sus empleados. En Londres, con casas de vecindad de poca altura, el rápido desarrollo de la construcción derivado de la industrialización tuvo más que ver con la explotación que con el planeamiento urbanístico; el resultado fueron unas aglomeraciones muy densificadas y de ínfima calidad. Pero, además de Londres, el panorama de muchos otros centros urbanos no era menos sombrío: unas ciudades lúgubres, monótonas, abarrotadas y caóticas, sucias e insalubres. Como explicaba Friedrich Engels en su famoso libro *La situación de las clases trabajadoras en Inglaterra* (1845), "en el núcleo antiguo de Manchester, [...], han aparecido nuevas edificaciones del tipo 'espalda contra espalda', en pequeños y sucios patios".

Esas construcciones tocaban a las casas vecinas en tres de sus lados, y sólo les llegaba la luz por uno de ellos. Consecuentemente, la mayoría de las habitaciones carecían de iluminación natural.

Sin embargo, no se puede acusar a todos los empresarios de la época de explotadores, algunos incluso habían leído a Jean-Jacques Rousseau 11712-1778 y oído hablar de los reformadores sociales utópicos, como Charles Fourier (1772-1837) Robert Owen (1771-1858) Si bien muchos de ellos vivían presos del temor a las huelgas socialistas, otros estaban inspirados por motivos más o menos filantrópicos. Esta actitud empresarial comprensiva para con los problemas de la clase obrera recibió el calificativo de paternalista. En el caso concreto de Inglaterra, y bajo las críticas condiciones de vida del Londres de la época, algunos de esos empresarios decidieron trasladar sus fábricas al campo y levantar junto a ellas colonias industriales para alojar a sus obreros. James S. Buckingham inició este movimiento en 1849 (con la ciudad ideal Victoria). Entre 1850 y 1863, litus Salt, un industrial textil de la lana, construyó una aldea modelo en el campo, estructurada en formas geométricas rectangulares y dotadas de instalaciones para los residentes, como escuela, iglesia, hospital, parque y estación de ferrocarril. Salt emplazó su industria al noreste de la colonia, teniendo en cuenta la dirección de los vientos dominantes y los humos contaminantes emitidos por la fábrica de Saltaire en Reino Unido. La tipología escogida para las viviendas construidas en Saltaire -que así fue como se llamó la colonia- fue la de casas en hilera de dos plantas de altura, en estilo renacentista.

Entre 1879 y 1895, el fabricante de chocolate George Cadbury realizó un experimento análogo en Bourneville, cerca de Birmingham. Esta iniciativa estaba impregnada de generosidad social: se construyeron calles curvas, se creó una franja de parque que atravesaba la ciudad, y se parceló el terreno en lotes más desahogados, y se construyeron unas 500 casas en hilera y pareadas.

A lo largo de la década de 1870 se sucedieron iniciativas paternalistas similares, incluyendo Port Sunlight (1887), construida por el fabricante de jabón William Hesketh Lever cerca de Liverpool, y la colonia Margarethenhóle, por el magnate alemán de la industria del acero Alfred Krupp cerca de Essen. En Margarethenhóhe (1906) se construyeron unas viviendas dúplex de planta cuadrada notablemente moderna, compuestas de cuatro habitaciones y una gran cocina.

En 1898, Ebenezer Howard, profundamente impresionado por todas esas realizaciones, expone su teoría de la ciudad jardín en un folleto y funda una sociedad, la Garden City and Townplanning Association. En 1908, los arquitectos R. Unwin y B. Parker construyeron para Howard la ciudad jardín de Letchworth a unos 50 km de Londres, en estilo medievalista. Las casas en hilera y pareadas que allí se levantaron tenían plantas relativamente anchas y poco profundas.

Aunque algunos arquitectos se adhirieron con entusiasmo a los planteamientos de Howard, lo cierto es que planearon sus ciudades jardín como prolongación de ciudades existentes, en lugar de hacerlo como entidades aisladas y rodeadas de campo. Los arquitectos Riemerschmid Muthesius y Tessenow construyeron en 1906 la ciudad jardín de Hellerau, cerca de Dresde, para obreros y clases medias bajas. Heinrich Tessenow comprendió la importancia de la normalización y proyectó unas casas en hilera de entramado de madera, entre crujías de 5,40 m de luz. Las casas constaban de tres habitaciones, cocina abierta al comedor, aseo, establo y lavadero.

### **1918 – 1945 “CONSTRUIR ECONOMICAMENTE”**

A principios de siglo, Peter Behrens y H. de Fries publicaron un influyente ensayo titulado "Construir económicamente" (Berlín, 1918) en el que abogaban por las configuraciones agrupadas y las tipologías "espalda contra espalda", con el fin de reducir los costes de los inmuebles. En Viena, Adolf Loos estudió una tipología de casa en hilera que era económica en virtud de su propio diseño estructural. Loos lo llamó "Casa de un solo muro" y lo patentó. En este diseño, únicamente la medianera era de obra de albañilería y sostenía las vigas de los forjados de dos vecinos adyacentes.

En cambio, las fachadas a la calle y al patio eran de madera. La casa de este tipo era relativamente amplia. El holandés J. J. P Oud fue el primer arquitecto que rebajó decididamente la anchura de la crujía de las casas hasta los 4,20 m, como en las realizadas en la urbanización residencial Kiefhoek en 1925 (11). Con un espacio de pasillo extremadamente reducido, Oud proyectó una casa en hilera de dos pisos de altura, conectados por una escalera compensada de ida y vuelta, pero sin cuarto de baño. El arquitecto alemán Bruno Taut fue algo más generoso con sus espacios. En su Siedlung Britz-Berlín (1925-1931), el tamaño de las

habitaciones superaría incluso las expectativas actuales, con una sala de estar comedor de 24 m<sup>2</sup>, una cocina de 10 m<sup>2</sup>, y un dormitorio doble de 20 m<sup>2</sup>. Las casas también disponían de cuarto de baño con bañera e inodoro.

No obstante, uno de los ejemplos de construcción residencial de poca altura que más influyó en los arquitectos de la época fue el barrio obrero realizado por Oud en el suburbio Hoek van Holland, en Róterdam, en 1924. Oud construyó dos bloques lineales revocados en blanco que contenían dos filas de viviendas superpuestas, de diferentes tamaños y con entradas separadas desde la calle. Entre 1922 y 1925, en la Cité Moderne de Bruselas, Victor Bourgeois enriqueció la tipología en hilera, proyectando unos bloques con planta en forma de diente de sierra, de modo que las fachadas formaban un ángulo de 45° con una calle de orientación este-oeste.

A mediados de la década de 1920, Ernst May fue nombrado arquitecto y urbanista municipal de Francfort. May, quien había completado su formación colaborando como ayudante del taller de arquitectura de Unwin y Parker cuando éstos trabajaban en la ciudad jardín de Hampstead, empezó su carrera profesional proyectando varias Siedlungen de casas prefabricadas en la periferia de la ciudad. May trabajó principalmente en la ejecución de una secuencia de viviendas de dos y tres pisos, bien adaptadas a la topografía del lugar. Además de su atención a los componentes prefabricados, también puso en práctica otras ideas sobre la construcción de bajo coste, como cocinas compactas normalizadas, armarios empotrados, cubiertas planas que podían usarse como terraza, y otros elementos normalizados, como hornos, puertas, marcos de puertas y ventanas, etc. Sus plantas (de 5 a 5,15 m de luz de crujía) diferían entre sí según fuera la orientación -lateral o longitudinal- de la escalera con respecto al eje de la casa.

## **EL CONTACTO CON EL PÚBLICO: LAS EXPOSICIONES**

Bajo los auspicios del Deutsche Werkbund, en 1927 Mies van der Rohe trazó el plano de conjunto de la Weissenhofsiedlung, situada sobre una colina en las afueras de Stuttgart. Contrariamente a la tradición constructiva de la ciudad, según la cual se acostumbraba a disponer los muros hastiales de las casas perpendicularmente a la pendiente del terreno, Mies orientó sus casas paralelamente a las curvas de nivel, tal y como se había hecho en las Siedlungen de Francfort. En su contribución particular (un pequeño bloque de casas en hilera), Mart Stam estableció la máxima de que las casas habían de ser objetos de uso cotidiano, en lugar de meros símbolos de posición social. Pero la contribución más importante a la construcción de poca altura vino, una vez más, de la mano de Oud: las viviendas de su bloque de casas en hilera constaban de 4 o 5 habitaciones, organizadas en tres niveles. Como rasgos especiales de su diseño

merecen destacarse el inodoro independiente del cuarto de baño, un pequeño patio de entrada rodeado de muros y un lavadero y sala de secado de ropa al nivel del rellano de la escalera.

Dos años más tarde, Walter Gropius ganó el primer premio de un concurso y construyó la Siedlung Dammerstock en Karlsruhe (Alemania). Pero, a diferencia de las Siedlungen de Stuttgart y Francfort, aquí prevaleció la simplicidad, abogada por Gropius como parte de su lema de "organización eficiente de la construcción y del terreno", pues todos los bloques estaban orientados de norte a sur, para distribuir simétricamente sobre las dos fachadas la iluminación del sol.

Destinó el 22 % del terreno a espacios públicos al aire libre, y tuvo la habilidad de proyectar cada vivienda ocupando únicamente 149 m<sup>2</sup> de parcela. De las 671 unidades que se construyeron, alrededor de la mitad seguían la tipología de casa en hilera. Para el pequeño barrio Tórtten en Dessau (Alemania), construido en 1926, Walter Gropius y Hannes Meyer desarrollaron un modelo de casas en hilera con niveles partidos. La sala de estar comedor y la cocina se organizaban en planta baja y los dormitorios se encontraban medio piso más alto, sobre el semisótano: una forma especial de planta con habitaciones en racimo. Por otra parte, para la Siedlung Dammerstock Gropius ideó un tipo de casa en hilera de 5,6 m de ancho, con la escalera en posición central y perpendicular a las medianeras. Uno de los ganadores del premio, Alfred Fisher, se las ingenió para ensanchar la escasa superficie de la parcela añadiendo una terraza transitable y diseñando una planta en la que la sala de estar era el centro de la casa; fue un precedente al bloque de viviendas de alquiler presentado por Alvar Aalto en la exposición Interbau en el Hansaviertel de Berlín (1957).

En 1932, para el diseño de la siedlung modelo para la exposición del werkbund en Viena, más pintoresco que el anterior, los organizadores invitaron, además de a una veintena de arquitectos austriacos, a un holandés, un francés y un alemán: Hugo Haring.

Haring había adquirido cierta notoriedad a lo largo de varias décadas por sus tipologías de casas en hilera y por sus ajustadísimas plantas. En sus casas en hilera de Viena, Haring se adelantó a su época en la exploración de dos ideas muy de nuestro tiempo: la flexibilidad y la energía solar pasiva. Sus casas, de diferentes tamaños, tenían las fachadas mayores orientadas al sur, al patio o al sendero de los residentes. Las fachadas sur estaban totalmente acristaladas, mientras que las otras tres eran de ladrillo y presentaban aberturas muy pequeñas. Lógicamente, la entrada, las salas de estar y los dormitorios daban a la fachada acristalada del jardín, mientras que los aseos, la cocina y el cuarto de almacén daban al norte. La sala de estar y uno de los dormitorios estaban separados por una puerta corredera, lo que permitía cierta flexibilidad de uso.

En su proyecto para la exposición del Werkbund, Adolf Loos tuvo la oportunidad de poner en práctica su concepto de Raumplan en forma de una casa en hilera de tres pisos. Aquí, la sala de estar de dos pisos de altura está bordeada en dos de sus lados por una galería, con un sofá empotrado.

## **EL TERCER REICH Y LA II GUERRA MUNDIAL**

Durante la era de la arquitectura nacionalsocialista, entre 1933 y 1939, las ordenaciones residenciales de poca altura se estructuraron de acuerdo con nuevos puntos de vista; desde este momento, las casas pareadas y las casas gemelas gozarían de prioridad sobre las casas en hilera. La simetría pasó a ser esencial. Las cubiertas a dos aguas y las ventanas barretadas pretendían sugerir afinidad con la tierra y el paisaje. Las cocinas con espacio para comer desplazaron a las cocinas diseñadas únicamente para cocinar. Pero, a medida que progresaba la guerra, la construcción de nuevas viviendas empezó a disminuir gradualmente, y los bombardeos abrieron otros campos de actividad.

Durante esos mismos años, pero lejos del alcance de la influencia nazi, tomó forma una notable concepción de urbanización residencial, cuya planta tipo ha seguido teniendo influencia hasta nuestros días.

En 1936, Alvar Aalto empezó a trabajar en los sucesivos proyectos residenciales para los empleados de la empresa papelera de Sunila, cuya última fase no se terminaría hasta 1954. El plan director de Aalto muestra que los grupos de viviendas se agruparon en las laderas sur, mientras las arterias de circulación y los jardines se disponían en las cañadas.

Entre las viviendas se incluían dos bloques de casas en hilera de tres pisos de altura sobre las laderas. Cada unidad contenía dos viviendas de una habitación en planta semisótano, con acceso desde el nivel más bajo del terreno en pendiente (lado sur); dos viviendas de dos habitaciones en el medio, con acceso desde el lado norte; y dos viviendas de dos habitaciones en el nivel superior, a las que se accedían mediante escaleras, también desde la fachada norte.

Dicho con otras palabras: tres casas en hilera apiladas una encima de otra, con terrazas escalonadas en las plantas superiores y paredes de carga transversales. En concordancia con los tiempos que corrían, las viviendas eran realmente pequeñas (unos 40 m<sup>2</sup>). Pero los motivos que impulsaron a Aalto a proporcionar a la mayoría de las viviendas su propia entrada independiente no fueron únicamente de índole económica, sino más bien de orden sociológico, pues para el arquitecto era muy importante la intimidad, pese a la configuración especial del bloque.

Con el paso de los años, esta actitud encontraría eco entre los arquitectos ingleses y, más tarde, entre los alemanes.



## **CASAS DE VARIOS PISOS**

El uso, económicamente racional, del costoso suelo de las ciudades condujo a una considerable propagación de la construcción de edificios de varios pisos. Por la misma razón, esto impulsó a proyectistas y promotores a intentar economizar al máximo en los espacios comunes de acceso a las viviendas. La estructura de los edificios de varios pisos se resuelve, bien mediante muros de carga centrales paralelos a las fachadas, bien mediante muros de carga transversales, o incluso por medio de pilares, sistema éste por lo general más caro que los anteriores.

El diseño de la estructura ejerce una influencia esencial sobre la planta de la vivienda; en consecuencia, los muros portantes centrales se asocian con soluciones de planta con pasillos, y los muros portantes transversales con soluciones de habitaciones en racimo.

### **1805 – 1933: PERIODO CRÍTICO DE ESCASEZ DE VIVIENDAS**

Para las ciudades europeas, el siglo XIX representó el período de mayor hacinamiento y peores condiciones de alojamiento. Las plantas de las viviendas de esa época reflejan una estructura social cambiante. Por un lado, la industrialización y la emigración del campo a la ciudad provocó el nacimiento del proletariado; por otro, esas mismas condiciones dieron origen a una clase alta adinerada. La clase media, menos articulada, vivía aislada de ambas. Cada clase social, a su vez, ocupaba un tipo de vivienda característico de sus necesidades y recursos. En Berlín, las primeras ordenanzas de la edificación (1853) permanecieron vigentes hasta 1887. La finalidad de esas normas, además de la pavimentación de las calles, el suministro de agua potable y la instalación de la red de alcantarillado, era poner un poco de orden en el crecimiento caótico de la ciudad.

Según estas ordenanzas, en una habitación de 15 a 30 m<sup>2</sup> no se autorizaba que vivieran más de 1,5 a 3 personas. Hay que tener en cuenta que en aquella época todavía no se había definido el concepto de vivienda como entidad independiente. Por ejemplo, a menudo la cocina estaba apartada de las habitaciones, a las que servía mediante un pasillo que daba acceso a varias unidades de vivienda.

Para los edificios de hasta siete pisos de altura, no era obligatoria la instalación de ascensor. El tamaño de los patios se fijaba de acuerdo con el alcance de las mangueras de los bomberos.

## LA VIVIENDA DE LA BURGUESÍA

Entre la burguesía de la época se concedía más importancia a la ostentación que al hecho de tener una planta de vivienda racional. La sala de estar debía estar orientada a la calle.

Dado que cada hogar disponía al menos de una persona de servicio, no parecía imprescindible tener una planta que garantizase unas relaciones funcionales eficientes. Largos y tortuosos pasillos conducían a habitaciones distantes, a menudo orientadas al patio.

Hacia finales de siglo se produjo un florecimiento de la clase media, acompañado de una recesión en la construcción de grandes viviendas y un aumento paralelo en las de tamaño medio.

Para explotar al máximo el suelo disponible, en las parcelas se construían edificios delanteros y traseros. En Berlín y en otras ciudades, los edificios de viviendas con alas que se extendían a lo largo de cada uno de los lados de los patios crearon las llamadas Berliner Zimmern (habitaciones berlinesas), unos cuartos situados en las esquinas peor iluminadas del edificio. Con frecuencia, esas habitaciones servían de zona de paso a las habitaciones orientadas al patio. Las salas de estar de las viviendas de las clases altas daban a la calle. La casa trasera se reservaba para viviendas de los inquilinos con menos recursos. La estructura de esos bloques interiores sólo quedaba interrumpida por los patios de luz y patinejos, cuya ubicación y diseño influían significativamente sobre la calidad de las viviendas.

Una tipología muy característica de la época, particularmente en Viena, fue la de los bloques residenciales con pasillo central que daba acceso a todas las habitaciones. La gran profundidad de esos edificios (unos 12 m) -así como también las nuevas ordenanzas municipales, que reflejaban avances en cuanto a higiene-, determinaba la ubicación de tales pasillos. Por otra parte, el carácter neutro de este espacio de acceso a las habitaciones propició las situaciones de subarriendo o de coexistencia de varias familias bajo el mismo techo, un factor esencial en tiempos de necesidad crítica de alojamientos. Los cuartos de baño, un elemento nuevo de principios del siglo XX, se ubicaban junto a las cocinas para permitir la concentración de las instalaciones.

Durante los primeros años del nuevo siglo se detectó una mejora general en la construcción de viviendas en Berlín, Bruno Taut y Hermann Muthesius empezaron a llevar a la práctica los primeros programas de vivienda social. Por toda Europa los arquitectos proyectaban y ponían en práctica nuevos conceptos de vivienda

para la clase media alta: Hector Guimard en París, Otto Wagner en Viena, Antoni Gaudí en Barcelona y Victor Horta en Bruselas.

## **LA VIVIENDA DEL PROLETARIADO**

Un censo realizado en Berlín en 1827 revelaba que, en el barrio de Hamburger Tor, vivían 496 familias en 400 habitaciones; el 25% tenía como única subdivisión una raya de tiza trazada en el suelo. Hacia mediados del siglo XIX, el proletariado constituía el 88% de la población total de Berlín. Los miembros de la clase social más baja malvivían en unas condiciones verdaderamente lamentables. Incluso en 1875, el 8,4% de los berlineses únicamente disponía de un "espacio para dormir", pues sólo podían alquilar camas en viviendas de otros inquilinos.

Hacia 1890, los barrios centrales de Berlín estaban tan densamente apretujados de edificios de alquiler, que los promotores se vieron obligados a construir barrios residenciales en las afueras de la ciudad. La situación era algo diferente en Viena y Londres. Las ordenanzas de edificación de la ciudad de Viena permitían una ocupación del 25% de la superficie de los solares. Como alojamientos para las masas se construían los edificios Bassena, así llamados por los depósitos de agua que se colocaban en los pasillos para uso de todos los inquilinos. Viviendas de una o dos habitaciones daban a un pasillo común, con una cocina como antesala.

Sólo a finales del siglo XIX las condiciones de vida de las viviendas de la clase trabajadora empezaron a mejorar gradualmente.

## **NUEVAS IDEAS: LA PLANTA CONCENTRADA**

Si se considera la multitud de proyectos llevados a cabo durante la década de 1920, para entonces la mayoría de las ideas de planta de alojamiento ya se había desarrollado. En Alemania, la reconstrucción no pudo comenzar inmediatamente después de la I Guerra Mundial, una situación que, sin embargo, resultó positiva para el desarrollo de nuevas ideas de vivienda. En la creación de las ideas modernas intervino un considerable número de arquitectos, entre ellos, Gropius, Háring, Hilberseimer, Rading y Scharoun. Alexander Klein fue otro de esos arquitectos que, en cierto modo, puede considerarse como ejemplar. Comenzó como arquitecto municipal de San Petersburgo, en Rusia. En 1920 emigró a Berlín, ciudad donde trabajó durante diez años.

Ya en San Petersburgo, Klein había postulado su "división precisa de las habitaciones de una vivienda según tres grupos de actividad: para vivir, para

dormir, y para fines funcionales. De esta manera, la familia puede realizar sus funciones en esos grupos sin molestias ni interferencias".

Sin embargo, la idea de Klein chocaba de lleno con la filosofía de las ordenanzas de la edificación de Berlín, en las que se daba preferencia a la planta con pasillo central. Y no fue hasta 1925, en un concurso ruso de diseño de tipos de vivienda, cuando pudo presentar públicamente su idea de planta de vivienda. En las tres plantas de Klein, el acceso se realizaba a través de un vestíbulo con iluminación natural que conducía a la cocina y a la sala de estar. En dos de sus tipos, el acceso a los dormitorios se realizaba directamente desde la sala de estar, En su tercer tipo, interponía un distribuidor común -en alemán, Pantoffelgang (algo así como "paso en zapatillas")-, con una puerta de acceso al baño. En un proyecto para otro concurso posterior, Klein adopta una planta concentrada con un muro de carga central. Aquí, una pequeña antesala da paso a un pasillo en T. A un lado del pasillo están las dependencias sanitarias (con instalaciones de agua independientes) y al otro lado se sitúan el comedor y la sala de estar. El pasillo termina en un íntimo y pequeño distribuidor. El cuartito de almacén que aparecía en las tres plantas anteriores ha mermado en tamaño, transformándose en un armario empotrado en la cocina.

En 1928, Klein desarrolló la planta concentrada clásica. La sala de estar con su terraza está orientada a poniente, mientras que los dormitorios lo están a levante.

Los tipos creados por Klein sirvieron de base para gran cantidad de urbanizaciones posteriores, especialmente por el modelo de planta agrupada, incluso en una época en que las ordenanzas municipales estipulaban rígidamente las dimensiones de las estancias de la vivienda, Klein trabajó desde el punto de vista de ofrecer una vivienda funcional, no ostentosa, para familias sin personal de servicio. Su planteamiento le permitió preparar un estudio exhaustivo, a base de diagramas, del asoleo de la vivienda. Sin embargo, el incansable y enérgico espíritu de Klein no se detuvo ahí.

En 1926 recibió el encargo de proyectar un edificio de cinco plantas en una urbanización residencial de poca altura. Klein se inspiró parcialmente en las plantas de los edificios de dos pisos adyacentes, así como también en modelos holandeses e ingleses. En consecuencia, proyectó un tipo con plantas estructuradas de diversos modos. En las plantas baja y primera dispuso maisonettes, mientras que la segunda y la tercera estaban ocupadas por pequeñas viviendas que daban a galerías abiertas. El tercer piso y el nivel del ático también tenían maisonettes a las que se accedía igualmente por galerías abiertas.

En sus últimas Siedlungen, Walter Gropius también trabajó bajo la idea de planta concentrada (30). En su proyecto de Francfort de 1931 desarrolló aún más esta

idea, convirtiéndola en una planta clásica que ha venido siendo ampliamente emulada hasta nuestros días, Gropius combinó el pasillo central y la antesala, configurando un pasillo en L. El resultado fue una construcción económica, más profunda, que Gropius pudo aplicar finalmente en su proyecto para la exposición Interbau en el Hansaviertel (1957). Aquí, alineó mecánicamente las estancias de diversas funciones a ambos lados de un largo y estrecho pasillo central.

En 1930, Hans Scharoun proyectó una admirable planta residencial, admirable porque estaba basada en la propia vida. Scharoun creó una sala de estar continua, totalmente iluminada por luz natural que entraba por dos de sus lados, con una galería y un rincón para comer con una ventana con jardinera, que servía de paso al distribuidor de los dormitorios. He aquí un magnífico ejemplo de planta de vivienda concebida orgánicamente.

### **NUEVAS IDEAS: LA PLANTA CAMAROTE**

Por esa misma época, varios arquitectos coetáneos de Alexander Klein trabajaron también en el desarrollo de plantas de viviendas. Uno de los objetivos comunes a todos ellos era la reducción del pasillo al mínimo.

En 1920, Adolf Rading, conocido por su Pabellón del Centenario en Breslau, presentó una "planta camarote" para unas viviendas de planta baja. Su propuesta consistía en una planta de 7 m de profundidad, con la sala de estar en el medio. La sala de estar estaba rodeada en tres de sus lados por tres dormitorios camarote, cada uno de ellos con dos camas y armarios empotrados, cocina, distribuidor con la escalera de bajada al sótano, distribuidor con el acceso al baño y una salida al jardín.

Esta predilección por los espacios tipo camarote no era nueva; recuérdese que en las alquerías alemanas había unos espacios similares, llamados en bajo alemán Butze o Durk aunque éstos consistían en simples camas nicho empotradas en la pared. Ese mismo año, Ludwig Hilberseimer presentó una planta camarote para una casa multifamiliar, inspirada en el eficiente uso del espacio que caracteriza a los camarotes de los trasatlánticos.

Unos años después, Otto Haesler aplicó el modelo de Hilberseimer casi literalmente. No obstante, la solución de planta camarote sólo presentaba auténticas ventajas económicas a costa de eliminar el pasillo, es decir, a costa de acceder a los nichos dormitorio únicamente a través de la sala de estar.

## **NUEVAS IDEAS: LA PLANTA FLEXIBLE**

-El hombre y sus viviendas son capaces de transformación: flexibles, y sin embargo permanentes". Bruno Taut escribió en 1920, en su libro *Die Auflösung der Städte oder die Erde, eine gute Wohnung* (La disolución de las ciudades, o la tierra como buena morada). Pero lo cierto es que Taut no logró proyectar una vivienda auténticamente flexible. Por el contrario, Mies van der Rohe sí logró poner en práctica las ideas de sus primeros escritos, basadas en introducir el concepto de esqueleto estructural en sus proyectos de viviendas, lo que le permitió liberar la planta de paredes fijas y sustituirlas por tabiques móviles.

Su aportación a la *Weissenhofsiedlung* (1927, en Stuttgart, fue una vivienda de planta flexible en el contexto de unos pocos elementos constructivos fijos. Su solución permitía alojar indistintamente a 4, 5 ó 6 personas en la misma superficie útil. Aquí, Mies van der Rohe aplicó algunas de las ideas de la planta camarote, pero con criterios de mayor generosidad.

Siete años más tarde, Eric Friberger realizó una memorable creación en su casa experimental en Göteborg-Kallebeck, donde el usuario podía construir su planta individual sobre una losa de hormigón, disponiendo a su gusto los tabiques ligeros. Los únicos elementos fijos (no modificables) eran la caja de escalera, el módulo de aguas ubicado en la cara interior de la pared de la caja de escalera, y los pilares. Fuera de estas pequeñas restricciones, el usuario podía organizar la distribución de la vivienda a la carta.

## **APLICACIÓN Y ACEPTACIÓN DE LOS PRINCIPIOS MODERNOS**

Los tipos de plantas resumidos más arriba se aplicaron en grandes promociones residenciales a partir de mediados de la década de 1920. Tal fue el caso de Berlín, por ejemplo, donde se construyeron 187.456 viviendas entre 1925 y 1934. Una de esas primeras grandes urbanizaciones fue la construida en Britz, en Berlín, y recibió el nombre de *Hufeisensiedlung* (Siedlung en herradura), por la forma de su edificio central. Este gran edificio curvo delimitaba un patio interior que fue subdividido en jardines para los inquilinos, a diferencia de Viena, donde tales espacios eran de uso comunitario. Esta zona central estaba rodeada de bloques de casas en hilera, dispuestos según diversas configuraciones escalonadas o en ángulo (3b1. Poco tiempo después se construyó la *Siedlung Onkel Toms Hütte* [La cabaña del tío Tom], basada en un proyecto urbanístico realizado también por Bruno Taut. Por lo general, esos programas a gran escala se pusieron en práctica aplicando formas funcionalistas simples. Una solución formal que alcanzó gran difusión fue la de combinar cubos blancos puros, con ausencia de elementos

plásticos individuales. Otra solución ampliamente aplicada incluía franjas de ladrillo y balcones ondulados.

De hecho, el período inicial de plasticidad rítmica de Hans Scharoun alcanzó su apogeo con soluciones de este tipo; Adolf Hitler cortó de raíz este período creativo.

Pero no en todos los países europeos se llevaron a cabo promociones similares. En Viena, por ejemplo, se dio preferencia a las promociones residenciales monumentales, a base de muchas viviendas pequeñas y con un patio comunitario, que estaban financiadas por el sector público.

Las fachadas, decoradas con expresivos elementos simbólicos, se convirtieron en llamativos signos de socialismo práctico. La planta de la vivienda -por lo general, de dos o tres habitaciones sin pasillo- no entraba entre las prioridades de proyecto. La infraestructura solía incluir bibliotecas, tiendas, restaurantes, lavanderías y piscinas, lo que confería un cierto grado de autonomía a las supermanzanas. Un ejemplo destacado de estas intervenciones urbanas de la época es el conjunto residencial Karl Marx Hof, construido en 1928 en Heiligenstadt, Viena, por el arquitecto Karl Ehn. Más modernas, desde el punto de vista arquitectónico, fueron las plantas de los edificios de viviendas de la Sredlung del Werkbund en el barrio de Neubühl, en Zúrich.

En estas plantas, diseñadas para la clase media alta, se introducía un pasillo de distribución central paralelo a las fachadas del bloque. Entre 1919 y 1922, el arquitecto Michiel Brinkman construyó la urbanización ejemplar Spangen, en Róterdam, con sus galerías abiertas. El módulo básico consiste aquí en dos viviendas de una planta superpuestas, a las que se accede desde la planta inferior; una de ellas tiene la puerta de entrada en la planta inferior y la otra tiene su escalera. En el segundo piso, un sistema de galerías abiertas conecta todos los edificios y proporciona acceso a las maisonettes.

El recorrido de este pasillo a lo largo de los edificios goza de unas cualidades singulares; algunos tramos están totalmente abiertos, otros cubiertos, en ocasiones tienen anchura normal, en otras doble, pero en todos los casos resulta suficientemente desahogado para poder llevar paquetes cómodamente o para que jueguen los niños.

Los primeros bloques de viviendas altos de esta ciudad se construyeron entre 1933 y 1938, y fueron el Bergpolder (w. van'lijen, Brinkmann y Van der vlugt) y el plaslaan (Van Tijen y H. A. Maaskant).

## **PLANTAS DE EDIFICIOS DURANTE EL PERIODO DE LA POSTGUERRA 1945 - 1955**

La construcción en las ciudades europeas devastadas comenzó, muy lentamente, durante los años inmediatos a la guerra. El regreso de los soldados y refugiados agravó aún más, si cabe, la escasez de viviendas. Los programas de alojamiento de esos años estuvieron regidos por la reconstrucción de los edificios dañados y por la satisfacción de las necesidades más básicas.

El resultado fue el dominio de una tipología sencilla, de bloques de tres o cuatro plantas y de dos a cuatro viviendas por rellano, Las ideas experimentales materializadas durante el período de entreguerras quedaron, de momento, relegadas. Como reminiscencia del funcionalismo, y no sólo en los barrios periféricos de las ciudades, permaneció la disposición de bloques de edificios perpendiculares a las calles, que si bien permitía la circulación del aire a través de los espacios libres que, a modo de canales, quedaban entre los edificios, también facilitaba la entrada del ruido del tráfico. Desaparecieron los patios. Hoy día es difícil entender cómo el lema del planeamiento urbano de las ciudades alemanas - especialmente durante la década de 1950- pudo haber sido posiblemente "Disminución de la densidad con verde en todas partes...

Durante esos primeros años de la posguerra, Le Corbusier construyó la Unité d'Habitation en Marsella (1946-1952). En ella puso en práctica una tipología que pretendía tener el carácter de elemento de diseño urbano compuesta con sólo diez unidades; Le Corbusier quiso reemplazar una ciudad entera devastada por la guerra.

En 1952, durante la inauguración del edificio, Le Corbusier explicaba así sus intenciones: "La idea es, sencillamente, sustituir la ciudad por unas viviendas configuradas de una forma hasta ahora desconocida. La Unité está planificada de manera que ofrece a sus residentes las mismas cosas que Marsella proporciona a sus habitantes procedente de todas las clases sociales". En efecto, su idea de entrelazar las maisonettes dúplex en el edificio, era realmente nueva. Para servir a las 15 plantas de viviendas y 2 de locales del edificio (de unas 400 viviendas en total), bastaron únicamente 7 pasillos. Le Corbusier aplicó otra idea que resultaría fructífera para el futuro y que vino condensada en un artículo escrito mientras trabajaba en su Unité. Una fotografía muestra dos dedos que insertan una maqueta de una vivienda dúplex en otra maqueta de un esqueleto estructural. Con ello se anticipó al planteamiento adoptado mayoritariamente por otros arquitectos de la década de 1960, que optaron por la construcción de un sistema portante de pilares y forjados, en el cual podían insertarse los elementos de acabado de forma totalmente independiente de la estructura portante.



En Alemania, la ayuda norteamericana canalizada a través de la Economic Cooperative Administration (ECA), permitió la construcción de las primeras promociones residenciales de poca altura. En el barrio residencial ECA de Stuttgart, junto a otras ideas de planta tomadas de la década de 1920, se puso en práctica el concepto de las habitaciones desniveladas entre sí, En la misma época, Arne Jacobsen construyó en Dinamarca el barrio residencial Ssholm, en Klampenborg, Se lograba la intimidad mediante la organización de conjunto de los bloques y sus formas retranqueadas.

## **1965 - 1975**

A grandes rasgos, este período se caracteriza por la gran expansión urbana y por la construcción de bloques de viviendas altos y de edificios aterrizados. La nueva generación de arquitectos jóvenes repudiaba los planteamientos urbanísticos de Le Corbusier y desarrolló el concepto de patios de Hans Scharoun a gran escala. En este período, el modelo de planta tipo maisonette de Le Corbusier goza de más predicamento entre los arquitectos que entre los promotores de viviendas. Por otra parte, se desarrolla ampliamente el modelo de "planta-camarote" aplicado por Aalto en su proyecto para Interbau.

Sin embargo, los espacios semipúblicos y las áreas de acceso se reducen al mínimo indispensable. Esta tendencia general del período no afectó al proyecto

Byker Wall de Ralph Erskine en Newcastle-upon-Tyne (iniciado en 1969), en el cual unas atractivas galerías abiertas dan acceso a dos maisonettes, una de las cuales se desarrolla hacia arriba y la otra hacia abajo. Los balcones están ubicados entre los pasillos.

Los proyectos residenciales de este período se caracterizan por edificios sin ángulos marcados, escalonados, aterrizados y estructurados rítmicamente, En el caso de unión de edificios, tales soluciones permiten grandes semipatios o patios de vecindad. Un prototipo de este modelo a las afueras de la ciudad fue el barrio berlinés Márkisches, de 1967, se respetaron las viviendas existentes, se conservaron e incluso ampliaron los grupos de viviendas unifamiliares existentes. Este conjunto residencial demostró -en la dimensión vertical- una nueva tendencia en el desarrollo urbano: la densidad; es decir, un enfoque diametralmente opuesto a los planteamientos de la década de 1950. En la construcción del Márkisches sólo se emplearon grandes paneles prefabricados en una quinta parte de las viviendas, aproximadamente. Este proyecto puso fin a la práctica de la construcción en hilera, al menos por el momento. Desde el punto de vista de diseño urbano, los resultados del Márkisches representaron un avance significativo, El ademán imponente, protector, del edificio alto (tal vez hasta demasiado alto), pasó a sustituir a los canales o intersticios entre los edificios.

Anteriormente a Márkisches ya se había realizado una estructura urbana similar en Sheffield (Inglaterra): el conjunto residencia IP ark Hill-Hyde Park (1957-1961) obra de J. Lewis Womersley & Partners.

Casi en paralelo a estas ordenaciones en altura, empezaron a menudear los programas urbanos densos desarrollados en sentido horizontal. En 1965, Roland Rainer inició su densísima urbanización Puchenau, cerca de Linz (Austria). En virtud del uso de unos bloques residenciales de cuatro plantas con acceso vertical, que se convertían en casas de una planta en la fachada al Danubio, Rainer consiguió un proyecto que, además de armonizar suavemente con el paisaje, se caracterizaba por una rica mezcla formal y social.

En Inglaterra, Peter Phippen realizó una urbanización de casas patio con una gran variedad de plantas.

Durante este período, los arquitectos perseveraron en la idea de Le Corbusier y Mies van der Rohe, según la cual la estructura portante se separaba de los elementos de cierre. El resultado fueron las llamadas "casas cajón", en las que, dentro de ciertos límites, los residentes tenían la opción de completarlas a su gusto. Esta tendencia concordaba con los esfuerzos de muchos arquitectos por incorporar planteamientos sociológicos al diseño de las plantas de las viviendas y de los conjuntos residenciales.

En lo que podría definirse como una especie de asesoría social, estos arquitectos desarrollaban sus plantas residenciales en el seno de un proceso de intercambio de opiniones con los futuros residentes.

### **1975 - 1985**

Durante este período, el proceso de expansión urbana se interrumpe en beneficio del de renovación. Al mismo tiempo, los costes de la mano de obra en la industria de los componentes prefabricados ascienden hasta tal punto que la construcción convencional vuelve a ser competitiva. La crisis del petróleo de 1973 proporciona nuevos incentivos para la explotación de las energías naturales procedentes del sol y de fuentes geotérmicas. En la construcción de las fachadas, predomina una combinación de ladrillo y materiales de aislamiento térmico. Es frecuente el uso de galerías e invernaderos como medio de control climático. El posmodernismo conlleva un renovado interés por el diseño de la fachada.

La principal tarea durante esos años consiste en rellenar los huecos abiertos entre los edificios a causa de la guerra, lo que deja poco lugar para la invención de nuevas tipologías de planta, debido a las estrictas limitaciones impuestas por el entorno. Cada intervención pasa a ser un caso singular donde no caben generalizaciones abstractas. Lo mismo podría aplicarse a la orientación de la planta y a la profundidad del edificio, cuestiones decisivas en épocas anteriores.

Sin embargo, puede hablarse de una tendencia nueva en la estructuración de la planta, por el énfasis que se concede al hecho de tener un centro del espacio, sea éste una sala de estar o un pasillo ensanchado, por ejemplo. También se observa una tendencia a combinar la escalera con galerías exteriores o interiores.

La Internationale Bauausstelluns (IBA), celebrada en Berlín antes y después de 1984, sirvió como modelo para esas nuevas tendencias. En la IBA tuvieron cabida tanto la modernización esmerada (reconstrucción y restauración) como las medidas radicales (demolición y construcción nueva).

La incidencia en la imagen de los nuevos edificios tenía por objeto conseguir la identificación de los usuarios con sus viviendas. Como efecto lateral, los proyectistas trataban de competir con las fachadas de principios de siglo recién restauradas. Durante las tareas de restauración surgieron diversos problemas de naturaleza organizativa y financiera, y muchos de los inquilinos de los viejos edificios tuvieron que ser alojados en otros lugares mientras se realizaron las obras. Sin embargo, este fue uno de los incentivos para la construcción de nuevas viviendas a las afueras de Berlín, donde se pusieron en práctica las modalidades de los bloques delimitadores de manzana y de los edificios delimitadores de patio, además de las casas en hilera y la nueva villa urbana.

Este último tipo se caracteriza por sus dimensiones moderadas y manejables, tanto en cuanto a escala de fachadas como a número de usuarios, y satisface la necesidad de unas medidas más pequeñas, después de años de dimensiones apabullantes. Los bloques residenciales de gran altura fueron desapareciendo gradualmente de los programas de construcción.

Durante este período, la veterana tipología de las casas en hilera vuelve a tener amplia aceptación entre la clase media, ahora con mayor anchura de crujía y más variedad de tipos. La gente puede gastar en su casa más que en épocas anteriores, lo que redundo en que se creen nuevas configuraciones, como la planta en forma de cruz, a menudo con uno o dos patios intercalados, o las plantas con las entradas desniveladas [tal vez pensando en las casas de Sunila, de Aalto]. También se desarrollaron algunos modelos comunales de poca altura que se convirtieron en viviendas ocupadas por varias familias deseosas de compartir la experiencia de vivir juntas bajo el mismo techo.

## 1985 - 1995

Ahora, los huecos dejados por la guerra ya han sido rellenados y los programas de renovación urbana están prácticamente completos. La prioridad se ha desplazado a los barrios construidos en el período de entreguerras o después de la última guerra, Las medidas necesarias en este sentido abarcan desde las mejoras infraestructurales hasta el aislamiento térmico. También se han llevado a cabo intervenciones de unión de viviendas pequeñas construidas durante la década de 1930. Y los proyectos residenciales vuelven a construirse una vez más, en las afueras de las ciudades. Los bloques que se construyen actualmente tienen alturas bastante moderadas, También ha adquirido cierta importancia la reconversión de edificios existentes o su ampliación. El posmodernismo se ha retirado discretamente y, aunque se sigue dedicando atención a la fachada, su diseño ha dejado de tener prioridad sobre la planta. Se ha reavivado la repetición de elementos, por sus ventajas económicas; así pues, en el campo del urbanismo, las configuraciones lineales han adquirido un papel dominante, y, en cuanto a las plantas, se tiende a la sucesión de habitaciones de carácter neutro. La flexibilidad se ha convertido en una cualidad esencial en las viviendas, dado que cada vez se hace más difícil prever el tipo de usuario. Se considera más práctico y económico permitir que sean los futuros residentes quienes organicen las habitaciones a su gusto. En cualquier caso, la flexibilidad ha pasado a ser considerada como una mejora de la calidad de vida y el método más utilizado para conseguirla es el de las divisiones correderas. Se valora la capacidad que tiene una vivienda para unirse a otra(s), y también la dotación de habitaciones intermedias que puedan asignarse indistintamente a una u otra vivienda; de esta forma, los modos de vida comunales pueden hacerse realidad. En esta misma línea, las plantas con pasillo central han adquirido bastante popularidad entre los jóvenes, ya que tradicionalmente han permitido un acceso independiente a las habitaciones de uso neutro. Una vez más, la idea miesiana de insertar libremente el "bloque sanitario" en la habitación, para proporcionar un cuarto de baño o una cocina, ha vuelto a convertirse en un elemento de proyecto.

Una nueva necesidad es que se puedan combinar las zonas de vivir y las de trabajo. Un ejemplo de hasta qué punto es importante la flexibilidad de uso, es el hecho de que muchas promociones en áreas metropolitanas se plantean con opciones de acabados como viviendas u oficinas. Las ventajas de la vivienda unifamiliar también han sido aplicadas a los edificios de pisos. Se ha extendido el proyecto de filas de bloques con dos o tres viviendas de uno o dos pisos, una sobre otra, con acceso independiente a través de galerías abiertas. Es frecuente encontrar escaleras o zonas comunes que propician la comunicación entre los residentes, En las urbanizaciones de casas en hilera, es usual que se repitan los tipos de planta, sin variación alguna. Evidentemente, la introducción del ordenador en los estudios de arquitectura ha contribuido, en bastantes casos, a la producción de proyectos puramente "efectivos".

## LA VIVIENDA DESPROGRAMADA

En la década de los 90 se intensificaron las investigaciones sobre nuevos conceptos de vivienda.

La tarea consistía en saber si el inventario de tipos de vivienda todavía correspondía con los nuevos modos de vida contemporáneos. Todos esos estudios llegaron a la conclusión de que los modos de vida se habían vuelto individualistas, como consecuencia de un conjunto de cambios sociales irreversibles: la liberalización legal de las relaciones de parentesco; la tendencia hacia la igualdad social y profesional entre hombres y mujeres; el cambio de la familia nuclear a la bigeneracional; la importancia creciente de la llamada "tercera etapa de la vida" (trabajo por horas); la coexistencia de culturas globales y locales propiciadas por Internet; el aumento de la movilidad y, simultáneamente, la tendencia opuesta, es decir, la disolución de la separación física entre vivienda y lugar de trabajo, a través de los nuevos medios y otros factores. Esos estudios también pusieron de manifiesto que la tendencia a la individualización ni era una moda, ni se limitaba sólo a unos grupos socioeconómicos concretos.

Una de las consecuencias de esos cambios es que, en la mayoría de las ciudades, el número de hogares tradicionales se haya reducido al 20% aproximadamente. Sin embargo, sería erróneo asociar la tendencia a la soltería con aislamiento o con pisos pequeños; al contrario, esa tendencia se ha traducido en la aparición de una variedad de estilos de vida y, en consecuencia, en una demanda creciente de viviendas no convencionales. Si bien la tendencia predominante en esas viviendas se acoge al mercado de la "planta camarote", la suma de esas variadas demandas se va constituyendo cada día más en el factor que impulsa las demandas residenciales. El mercado de la planta camarote se caracteriza por la especialización y por ciertos rasgos distintivos; por una parte, está orientado hacia nuevos tipos de organización que van desde las comunidades privadas, cercadas y cerradas a cal y canto respecto al mundo externo con puertas y cancelas, hasta las cooperativas, que combinan vivienda con un estilo de vida semi-colectivo. Esto también incluye nuevas versiones de la vivienda cooperativa, con rasgos y servicios tan especiales como, por ejemplo, una cocina comercial completa con su chef.

Gracias a esta marcada diferenciación respecto al entorno, este tipo de vivienda permite ofrecer a sus moradores una gran abertura y transparencia dentro de su estructura.

Por otra parte, la demanda de formas de vivienda no convencionales ha favorecido la innovación tipológica. Conceptos tales como el de espacio de carácter neutro, la flexibilidad lograda con la ubicación opcional de los "bloques sanitarios", o el de "ambiente único" divisible a voluntad mediante tabiques móviles, están a la orden del día en la oferta de viviendas; en esas innovaciones también se incluyen los nuevos conceptos de acceso, como viviendas con diversas posibilidades de acceso a través de distintos caminos o pasos cubiertos, que cuentan, además, con pasillos o galerías privados que pueden ampliarse para formar espacios habitables adicionales. Así mismo, las tipologías clásicas sufren una reinterpretación como formas híbridas, por ejemplo, las casas atrio desarrolladas en altura.

Otro cambio relevante es la adecuada diferenciación entre tipos de vivienda dentro de un mismo edificio. Estos "edificios collage", a menudo caracterizados por su elevada densidad, suelen albergar en una sola edificación las tipologías más divergentes en lo que se refiere a tamaños de vivienda, niveles de acabado, sistemas de acceso y funciones (espacios comerciales/ libres, combinación de vivienda y trabajo, aparcamiento).

La mayor desvinculación del edificio respecto a su emplazamiento redundante en una mayor facilidad para mudarse. De este modo, el tema de las formas de vivienda flexible se transfiere al "exterior"; no se trata ya de una vivienda, que puede transformarse, sino de varias que permiten modos de vida diferentes. El propio término de flexibilidad resulta, a su vez, reinterpretado.

El entorno inmediato también adopta un significado distinto. Los espacios públicos se vuelven más heterogéneos, en la medida en que lo público se escinde en multitud de esferas públicas parciales.

En muchas promociones residenciales, en especial en las de gran tamaño, ya se está experimentando con la yuxtaposición de diferentes espacios públicos cuyas funciones se dejan deliberadamente sin determinar (véase Herzog Hubeli Comalini, teinfelsareal, Zúrich).

En el futuro, la individualización de los estilos de vida seguramente dará lugar a unos tipos de vivienda consistentes en carcasas estructurales, más o menos acabadas, que serán terminadas "a medida", de acuerdo con los gustos y demandas de los usuarios, bien sea en el marco de unas opciones y catálogos constructivos predeterminados, bien con independencia de tales opciones (b&k+brandlhuber&kniess GbR, Kölner Brett, Colonia).

Así pues, desde este punto de vista, la vivienda desprogramada también colma el deseo de singularidad. El atractivo de ser diferente ya no reside tanto en la belleza o fealdad, en lo caro o en lo barato, como en el lujo democrático de distinguirse unos de otros.

La ruptura con las convenciones -al menos desde una perspectiva histórica- ha creado nuevas libertades. Ciertamente no siempre son experimentadas como tales; en ocasiones, podrían percibirse como imperativos, lo que podría suscitar sentimientos de nostalgia respecto a modos de vida pasados, ello también se refleja en la correspondiente expresión arquitectónica: la añoranza de una menor libertad se traduce a menudo en un inventario creciente de nuevos edificios "retro".

Pero, más allá de las preferencias subjetivas, no hay duda de que la heterogeneidad de estilos de vida es la causa de que el estudio de la vivienda se oriente hacia la creación de unos espacios indeterminados en la asignación de unas funciones y unos valores de uso claros, ya que cualquier consideración preconcebida se arriesga a quedar desconectada de la realidad. En este sentido, hoy ya es posible hablar de vivienda post-funcionalista.

Este modelo de cambio no sólo es una reacción contra la idea moderna del prototipo de "vivienda mínima", sino también contra su programa pedagógico. La arquitectura desprogramada define lo menos posible y no impone nada.

La planta y el método de proyecto también marcan una deriva respecto al movimiento moderno, pero no en un sentido posmoderno, sino en uno introspectivo: mientras que la reducción y la unidad constituían el fundamento ético y estético del funcionalismo, la arquitectura desprogramada se basa en una realidad de multiplicidad y fragmentación. Así, la forma es reemplazada por una "supraforma" que acomoda la multiplicidad y la fragmentación, al tiempo que les permite pasar a un estado de simplificación. Algunos de los ejemplos citados anteriormente son posibles interpretaciones de esta supraforma, que también puede ser definida como una estrategia de proyecto: la vivienda empieza a adquirir una cualidad concreta precisamente cuando es interpretada a través de la toma de posesión de la misma. En otras palabras: una vivienda es suficientemente completa para ser usada y suficientemente incompleta para la posesión subjetiva, mientras que tiene la complejidad necesaria como para anticipar una variedad de soluciones. Así pues, la vivienda desprogramada puede convenir a la sostenibilidad que se requiere de una morada. No obstante, como todos los experimentos que lo han precedido, éste es sólo uno de los muchos métodos posibles para proyectar plantas.

### 3.3. La Vivienda en España

La discriminación en grupos de años de similares características depende en gran medida tanto de las situaciones social-políticas que estaban ocurriendo en Europa como las que tenían lugar en la nación. A medida que evolucionan los procesos económicos nacionales aparecen argumentos normativos de obligado cumplimiento y caracterización de construcciones en aspectos que hasta ese momento no fueron de interés como es la aparición de espesores necesarios. Por etapas estas demandas irán rigidizándose buscando un fin concreto, el confort térmico interior.

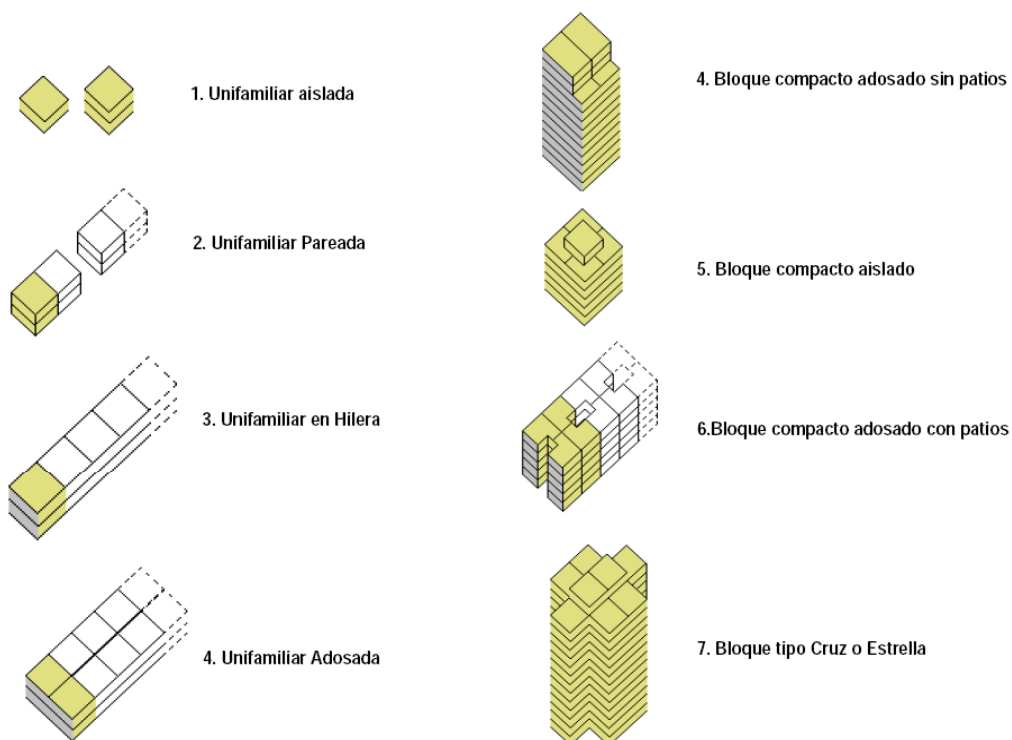
La inercia de estos análisis y consideraciones en el seno de la Antigua Europa hace que la deriva llegue a España con cierto retraso en su puesta en marcha, lo que genera a nuestro parecer los siguientes periodos reconocibles:

PERIODO	NORMATIVA VIGENTE
▪ Anterior a 1900	-
▪ 1901 - 1940	-
▪ 1941 - 1960	-
▪ 1961 - 1980	Entra en vigor las normas MV
▪ 1981 - 2006	Entra en vigor CT_79
▪ Posterior a 2006	Entra en vigor el actual CTE



### 3.4. Análisis, descripción y selección de las tipologías arquitectónicas básicas para el estudio

Tras el análisis previo de las publicaciones existentes como el texto "Estudio de tipología de vivienda entre medianeras y bloques lineales, información base" de la Sección de Estudios de la Vivienda del C.O.A.C.B. (primera edición de 1973), el texto "Estudio de tipología de vivienda aislada, información base" de la Sección de Estudios de la Vivienda del C.O.A.C.B. (primera edición de 1974), y el "Atlas de Viviendas" de Friederike Schneider de Gustavo Gili (tercera edición de 2006), se ha determinado que las tipologías básicas de estudio sean las siguientes:

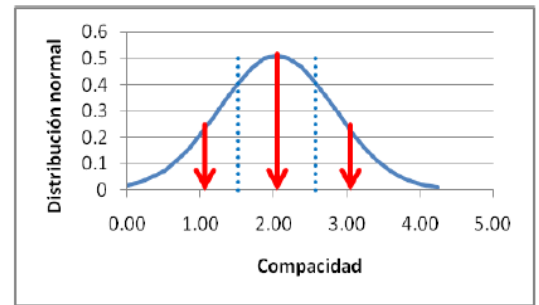


Los valores de rangos medios son obtenidos del cálculo de valores promedios, los cuales parten, por un lado, de la base de datos obtenida de referencias bibliográficas, como los referenciados en el punto anterior (Análisis Y Determinación De Tipologías Básicas), y por otro, de mediciones de casos reales estudiados para otras bases de edificios de otros trabajos de investigación como el Proyecto para la determinación de la Escala de Calificación de Edificios Existentes.

De las tablas de valores obtenidos se obtendrán tres valores para cada rango de tipologías: en primer lugar se obtendrá el valor promedio de cada característica estudiada; en segundo y tercer lugar se obtendrán los valores pertenecientes al valor medio del área del 25% a un lado y otro de la curva de distribución normal de cada una de las variables de análisis, según la figura anexa.

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN Y RANGOS MEDIOS

bloques exentos compacto y rectangular	long. de fachadas	long. de medianeras	superficie	L fachada/medianera
Área 25%	8	7	65	0.6
promedio	11	13	152	1.2
Área 25%	15	22	251	2.0



bloques entre medianeras (I)	long. de fachadas	long. de medianeras	L patio lado ppal	L Patio lado sec.	superf. Construida	superf. de Patio	L fachada /medianera	L ppat patio/Lsec	% patio
Área 25%	19	12	3	3	269	18.0	0.4	0.4	6
promedio	24	16	6	5	345	30.8	0.7	1.2	8
Área 25%	29	20	8	10	419	31.0	1.1	3.3	11

Bloques entre medianeras (H)	long. de fachadas	long. de medianeras	Lpatio lado ppal	lPatio lado sec.	superf. Construida	superf. de Patio	L fachada /medianera	L ppat patio/Lsec	% patio
Área 25%	17	12	7	4	161	31.2	0.5	0.4	11
promedio	22	15	9	5	271	45.0	0.7	0.6	18
Área 25%	26	19	12	6	362	61.1	0.9	0.8	26

PARÁMETROS DE CARACTERIZACIÓN Y RANGOS MEDIOS

	tipo	nº plantas	altura de plantas	sup x planta	% acrist por fachada		relacion fachada/prof	patio a fachada, a medianera o central	ancho	largo
unifamiliar	aislada	1_2_3*	3.2_2.7_2.7	150_75_50	22_18%	22_10%	0.6_1	-	-	-
	pareada (II)	1_2_3*	3.2_2.7_2.7	150_75_50	19_16%	19_10%	0.5	-	-	-
	en hilera (III)	1_2	3.2_2.7	75_50	19_16%	19_10%	0.5	-	-	-
	adosada (H)	1_2	3.2_2.7	75_50	19_16%	19_10%	0.7	-	-	-

3\* atico (1/2 -1/3 sup)

fachada ppal. fachadas secund.

	tipo	nº plantas	altura de plantas	sup x planta (promedio)	% acrist por fachada		relacion fachada/prof	patio a fachada, a medianera o central	ancho	largo
plurifamiliar	bloque exento compacto	3_7	2.7_3.3	180	28_21%	28_8%	1.2			
	bloque exento rectangular	3_7	2.7_3.3	353	28_21%	28_8%	0.6_2	central	>3_7 15-20	6_3 L-6
	entre medianeras (H)	3_7	2.7_3.3	338	28_21%	19_18%	0.7	a fachada y/o a medianera	4.5_6	6_3
	entre medianeras (I)	3_7	2.7_3.3	437	38_19%	20_18%	0.8	central	>3_7 10	6_3 L-6
	torre irregular (+, >, I)	7_>10	2.7_3.3	437	28_21%	28_8%	0.8	en fachada (I)	(A-3, A-6, A-14)	

Tabla 1 Parámetros de Caracterización y Rangos Medios

De la misma forma se obtienen los rangos más habituales de porcentaje de huecos en fachadas principales.

<b>% huecos generales</b>	<b>% fachada 1</b>	<b>% fachada 2</b>	<b>% fachada 3</b>	<b>% fachada 4</b>
Área 25%	21	21	8	6
<b>promedio</b>	<b>25</b>	<b>24</b>	<b>18</b>	<b>18</b>
Área 25%	28	27	28	30
Área 25%	21	21	18	-
<b>promedio</b>	<b>24</b>	<b>24</b>	<b>19</b>	-
Área 25%	28	28	21	-
Área 25%	19	12	-	-
<b>promedio</b>	<b>27</b>	<b>18</b>	-	-
Área 25%	38	24	-	-

Tabla 2 Rangos de Porcentajes de Huecos para cada fachada

### 3.5. Distinción de tipologías edificatorias básicas a través del análisis de la posición del edificio en la parcela

Para este análisis se debe aclarar que se ha tomado como premisa de partida que cada parcela contiene un edificio.

El loteo de parcelas en cada manzana ya determina en gran medida el carácter de cada posible edificio a generar mientras que la normativa urbanística termina de asignar las características de la "edificación capaz" de envuelta máxima permitida en ese espacio, mediante la limitación de la superficie edificable, el ratio máximo de área de cubierta/área de suelo, y el número de plantas máximas. Por tanto, queda fijado el volumen capaz que contendrá el edificio final.

Los escenarios de tipos de parcela que se nos pueden presentar pueden agruparse de la siguiente manera:

- La parcela ocupa toda la manzana.
- La parcela se encuentra anexa a otra (u otras) parcelas.

#### 3.5.1. Caso 1: la parcela ocupa toda la manzana

Si la parcela ocupa toda la manzana, la única posibilidad es que el edificio sea aislado, por lo que, en principio, tendrá las cuatro orientaciones<sup>3</sup>. Aparecen reflejados en la bibliografía como vivienda aislada o edificio de viviendas en bloque aislado principalmente.

---

<sup>3</sup> Se establecen las orientaciones marcadas por el CTE DB\_HE1 como ángulos capaces. Ver CTE\_HE1.

Sin embargo, la forma final y la denominación asociada dependen fundamentalmente de la existencia o no de patios en el edificio y de su disposición, como vemos en la imagen siguiente, principalmente en bloques de viviendas, por lo que una misma posición de la parcela en la manzana otorga todas estas posibles soluciones que se analizarán en el punto 3.6.

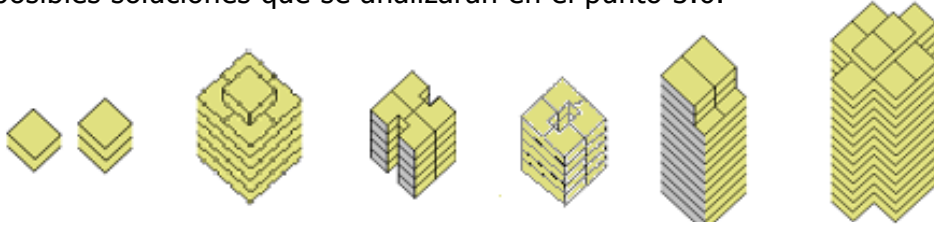


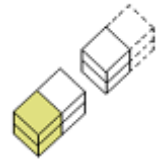
Ilustración 1: Tipologías debidas a la posición de patios

### 3.5.2. Caso 2: la parcela se encuentra anexa a otra (u otras) parcelas

Si la parcela no ocupa toda la manzana, existen varias posibilidades de localización que dan lugar a diferentes situaciones; por tanto, las orientaciones<sup>4</sup> de las fachadas principales a las que se exponen en cada caso dependen de su situación, que ahora pasamos a describir:

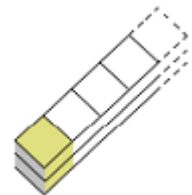
- Parcela en cabecera de manzana (dos parcelas por manzana)

Es lo que conocemos en viviendas unifamiliares como viviendas pareadas, y en bloques como "de cabecera"; poseen por lo general tres orientaciones principales.



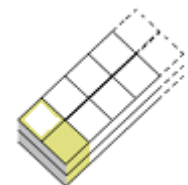
- Parcela en cabecera de manzana (más de dos parcelas por manzana)

Es lo que conocemos en viviendas unifamiliares y bloques como edificios "en hilera"; poseen por lo general tres orientaciones principales.



- Parcela en cabecera de manzana (más de dos parcelas por manzana)

Es lo que conocemos en viviendas unifamiliares como edificios "adosados" y bloques como edificios "de cabecera"; poseen por lo general dos orientaciones principales.

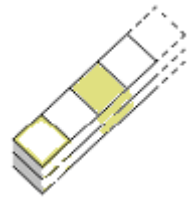


---

<sup>4</sup> Se establecen las orientaciones marcadas por el CTE DB\_HE1 como ángulos capaces. Ver CTE\_HE1.

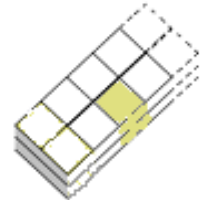
- Parcela centrada entre medianeras

Es lo que conocemos en viviendas unifamiliares y bloques como edificios "entre medianeras"; poseen por lo general dos orientaciones principales.



- Parcela centrada entre tres medianeras

Es lo que conocemos en viviendas unifamiliares y bloques como edificios "adosados"; poseen por lo general una sola orientación principal.



### 3.6. Distinción de tipologías edificatorias básicas a través del análisis de la posición de los patios en la parcela

En el apartado 3.5 se definen las posiciones relativas de parcela según la posición de parcelas del entorno definiéndose un volumen capaz en el que insertar posteriormente un edificio pero donde, en ningún caso, queda definida la forma final. Sin embargo, la existencia o no de patios en el edificio y su ubicación marcan el carácter final de éste, así como su imagen, tal y como se refleja a continuación:

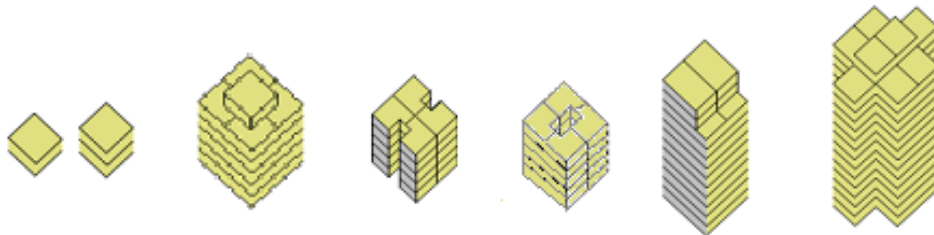


Ilustración 2: Tipologías debidas a la posición de patios

Las diferentes configuraciones espaciales obtenidas según la forma, número y disposición de patios han dado lugar a tipos arquitectónicos reconocibles desde principios del Siglo XX como vemos en tantos ejemplos de la arquitectura de necesidades como la aparición de las "Siedlungen" (ciudades jardín para trabajadores) creando una arquitectura de imagen reconocible y generando tipos arquitectónicos.

Ilustración 3: Siedlungen en Alemania



Según el documento de referencia <<**ESTUDIO DE TIPOLOGÍA DE VIVIENDA ENTRE MEDIANERAS Y BLOQUES LINEALES / INFORMACIÓN BASE de la Sección de Estudios de la Vivienda del C.O.A.C.B. (1973)**>>, las formas aparecen con el intento de introducir el mayor número de espacio vivible en una parcela, apareciendo ensayos teóricos que intentan describir los procedimientos que han llegado a generar estas tipologías reconocibles.

Dichos ensayos tratan de analizar el proceso creativo desde la simplificación del problema de la creación de viviendas en bloque mediante la búsqueda de la saturación del espacio destinado a viviendas en una misma parcela, siguiendo las necesidades de iluminación y ventilación de cada una.

Para ello, se crea un modelo simplificado, se marca el espacio de vivienda como una banda en el que poder desarrollar las viviendas interiores, de 4 a 5 metros de ancho, y que trata de plegarse para generar el mayor número de metros lineales en esa parcela, dando lugar a los espacios llenos y vacíos, los espacios intersticiales, los patios, como vemos en la siguiente imagen de ensayo de edificios entre medianeras, empezando a generar tipos edificatorios reconocibles y reproducidos hasta la actualidad:

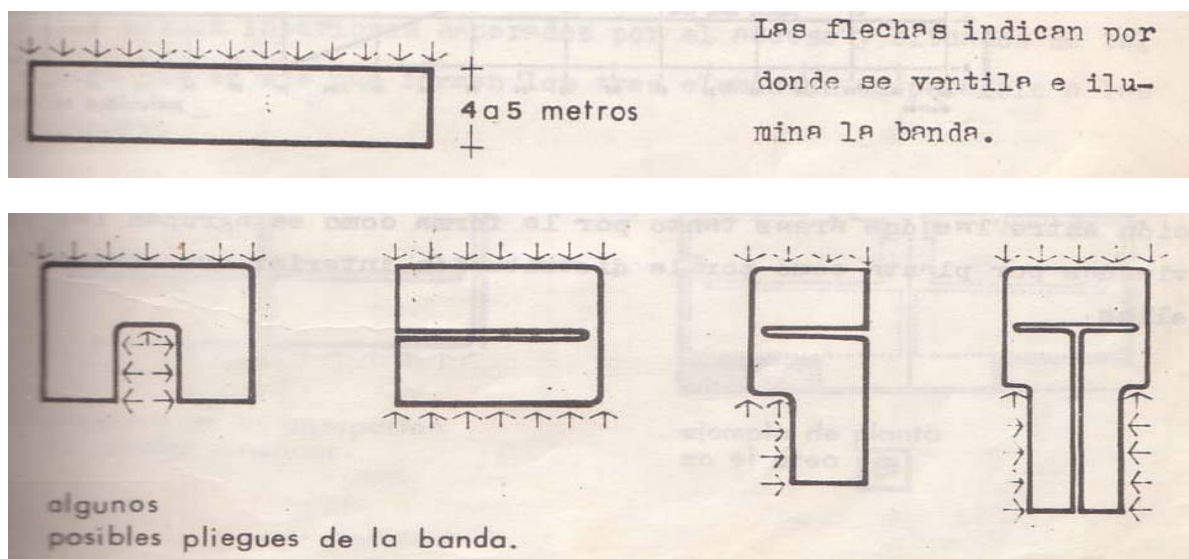


Ilustración 4: Análisis de formas de viviendas existentes, C.O.A.C.Barcelona (1973)





Ilustración 5: Bloque de viviendas en H (4 viviendas por planta)

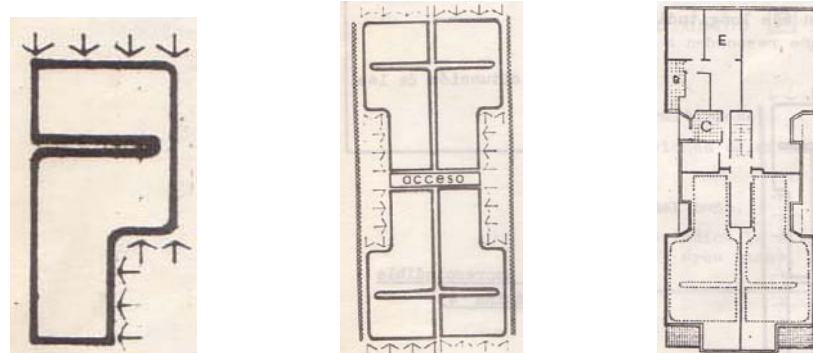


Ilustración 6: Bloque de viviendas en H (4 viviendas por planta)

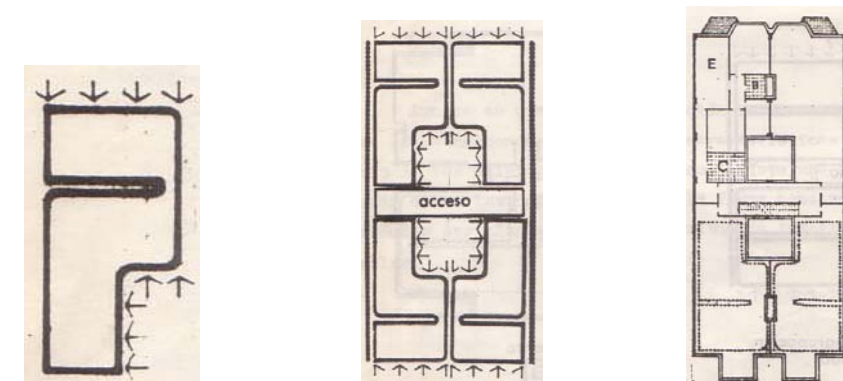


Ilustración 7: Bloque de viviendas entre medianeras con patios interiores (4 viviendas por planta)

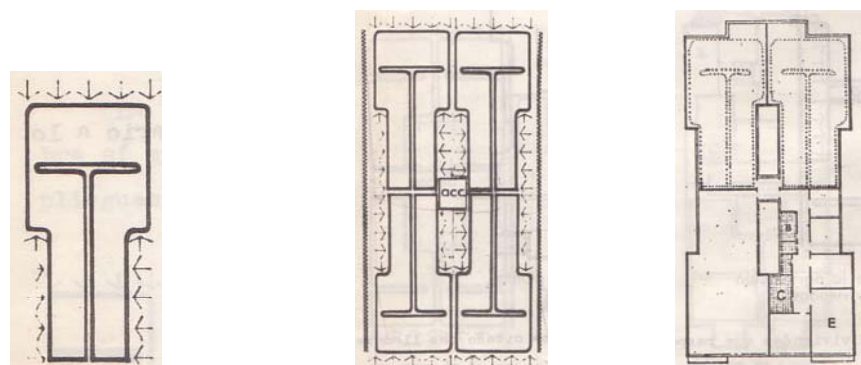
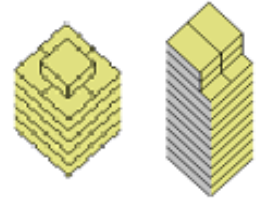


Ilustración 8: Bloque de viviendas entre medianeras con patios interiores (4 viviendas por planta)

Existen seis posibles ubicaciones de patios en la parcela, y cada una de ellas da lugar a diferentes tipos edificatorios que ahora pasamos a describir:

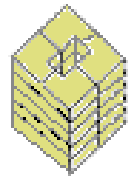
- Sin patios

Principalmente en edificios aislados en manzanas, viviendas unifamiliares o bloques, o en parcelas entre tres medianeras, que se han denominado en el punto anterior como "adosadas".



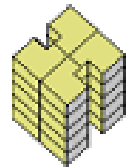
- Con patio/s centrado/s en la parcela

Principalmente en edificios aislados en manzanas, viviendas unifamiliares o bloques, o en parcelas entre dos o tres medianeras, que se han denominado en el punto anterior como "entre medianeras y adosadas". De dimensiones muy variables entre longitudes mínimas de 6 metros a grandes patios de 20 metros de lado.



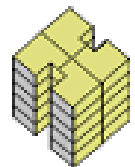
- Con patios a fachadas principales

En toda clase de bloques de edificios, muy extendido, aislados, pareados, en parcelas entre dos o tres medianeras, que se han denominado en el punto anterior como "entre medianeras y adosadas". De dimensiones poco variables entre longitudes mínimas de 5 metros a grandes patios de 10 metros de lado.



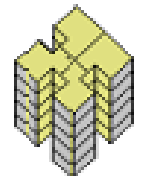
- Con patios a medianeras

En toda clase de bloques de edificios, muy extendido, aislados, pareados, en parcelas entre dos o tres medianeras, que se han denominado en el punto anterior como "entre medianeras y adosadas". De dimensiones poco variables entre longitudes mínimas de 5 metros a grandes patios de 10 metros de lado.



- Con patios a fachadas (parcela de cabecera)

Caso poco extendido de bloques de edificios en parcelas entre dos medianeras, denominadas como "entre medianeras". De dimensiones poco variables entre longitudes mínimas de 5 metros a grandes patios de 10 metros de lado.



- Con patios a fachadas (parcela aislada en manzana)

Caso particular de bloques de edificios en parcelas aisladas en manzana, que se han denominado "bloques en cruz o estrella". De dimensiones poco variables entre longitudes mínimas de 5 metros a grandes patios de 10 metros de lado.





Tipologías arquitectónicas básicas no tiene por qué ir asociado a una idea de arquitectura anclada a lo antiguo; hoy día existen múltiples obras y edificios de arquitectura actual basados en estas mismas experiencias, lo que supone una revitalización de las tipologías, una reinterpretación del orden adaptada a las necesidades y modos de vida actuales, e incluso, adaptada a las nuevas formas de hacer arquitectura.

Un claro ejemplo es el edificio entre medianeras de los arquitectos Cruz y Ortiz en Sevilla, donde el concepto de bloque con patio central será el medio para una parcela "acosada" entre las medianeras y la estrechez de las calles delantera y trasera.

El patio es el espacio "exterior" que el edificio necesita para respirar y ser vivido.

Como se redactó en los periódicos locales coincidiendo con el reconocimiento a estos arquitectos con el Premio Andalucía de Arquitectura, se pudo leer:

*"El edificio de viviendas de María Coronel -conocido como el riñón, por la forma de su patio central- se construyó en la Sevilla de los años setenta. Conserva la fisonomía de un inmueble de la Italia de los 50. Es pura esencia: ladrillo, formas puras, sobriedad. Casi matemática. Un hermoso espacio lleno de en silencio. Algo difícil de esperar si se hace caso del tópico sobre los sevillanos. Cruz y Ortiz desmienten con su actitud y su trabajo esta imagen, entre costumbrista e interesada, de la idiosincrasia local. Han demostrado que se puede hacer rigor desde la capital de Andalucía. Y que el regionalismo no es una condena, sino un regalo que nos dejó la historia, al igual que los tiempos contemporáneos nos legarán inmuebles como la remodelación del cuartel de la Puerta de la Carne o la biblioteca Infanta Elena, su otra gran proyecto en su ciudad. También concebido en función de un hermoso patio de luz. Matemática hecha forma. Exactitud y precisión. Los Monchis, como se les conoce en el gremio, han demostrado que Sevilla no tiene que estar siempre atrapada en la estética del barroco, como si el tiempo se hubiese detenido y el paisaje de la ciudad no pudiera concebir horizontes distintos. Acaso mejores. Con una puntualidad que parece más suiza que andaluza -se entiende ya la confianza de Basilea- y su amor por el ascetismo puro, casi a la manera de Zurbarán, han mostrado a Sevilla el camino mediante el cual puede convertirse en una urbe contemporánea sin perder las raíces de su esencia. A fin de cuentas, la cal y su metafísica y la poesía de la contención se inventaron en el Sur. En un Sur de perfiles etéreos. El suyo. Otro Sur."*

*Extracto de Diario de Sevilla, 29 de Octubre de 2009, Artículo: Cruz y Ortiz: sobriedad sevillana*



Cruz y Ortiz. 1974-1976.  
Edificio de viviendas en calle  
Doña María Coronel, Sevilla.

La planta de este edificio no dista de las propuestas en este texto como Bloques de viviendas con patio centrado en la parcela, descritos anteriormente.

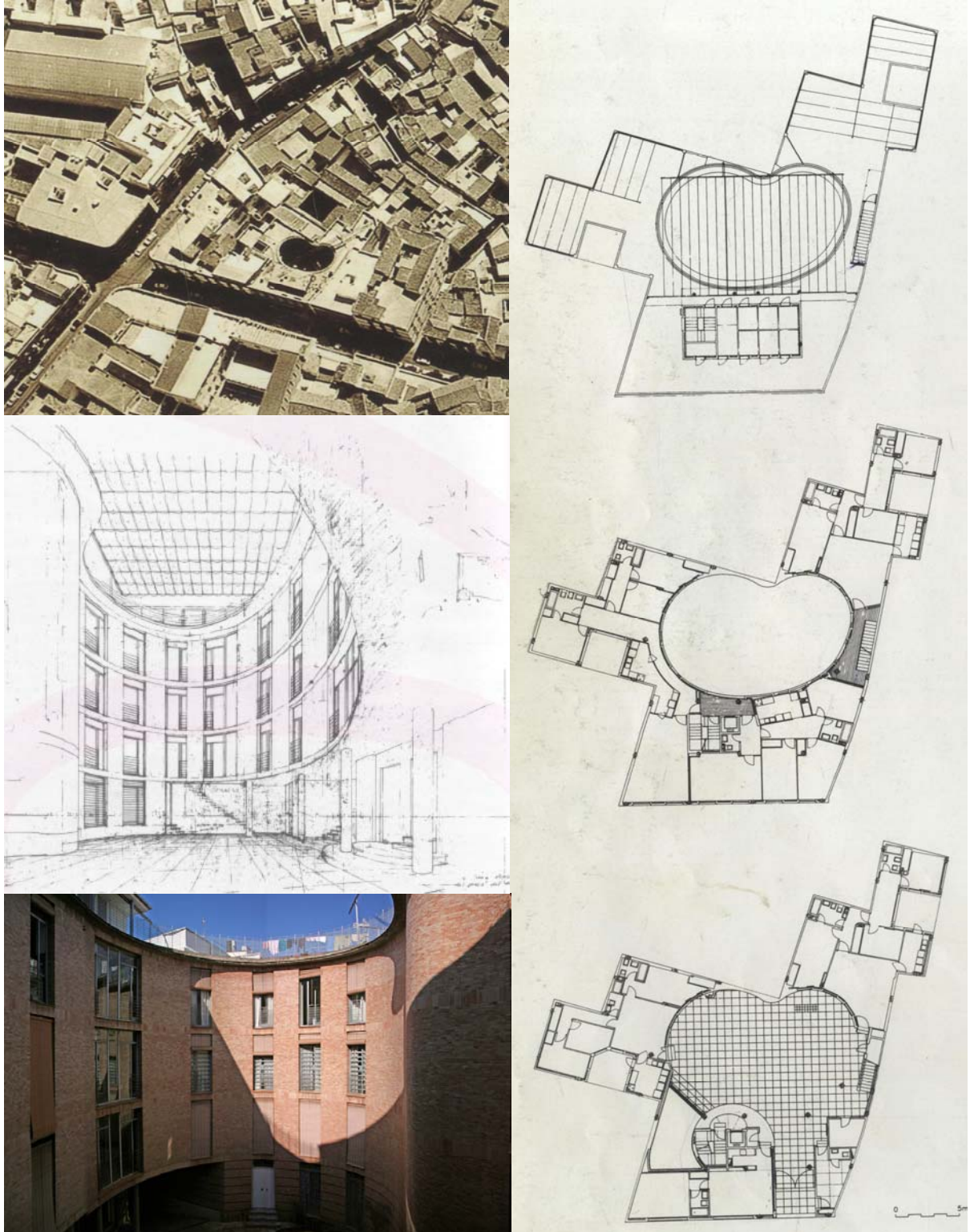


Ilustración 9 Cruz y Ortiz. 1974-1976. Viviendas en calle Doña María Coronel, Sevilla.

## Referencias

- \*C.O.A.C. Barcelona, "*Estudio de Tipología de Vivienda entre Medianeras y Bloques Lineales / información base*" de la Sección de Estudios de la Vivienda, 1973.
- \*Schneider F., "*Atlas de Plantas, Viviendas*", ISBN-84-252-2050-5, 1ªedic. 1997 - 3ª edic. 2006
- \*Neufert P. y Neff L., "*Casa\_Vivienda\_Jardín*", ISBN-978-84-252-2095-1, 1ªedic. 1999 - 2ª edic. 2007
- \*Broto C., "*Casas entre Medianeras*", ISBN-84-96263-99-1, 2007
- \*Schleifer S., "*Apartamentos Pequeños*", ISBN-3-8228-4179-X, 2005
- \*Álvarez Domínguez S., "*Análisis del comportamiento térmico de edificios*", Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1986.
- \*Sánchez F., "*Modificaciones microclimáticas inducidas por el entorno del edificio y su influencia sobre las demandas energéticas de acondicionamiento*". Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, ETSII, 2003.
- \*Salmerón JM., "*Caracterización de las técnicas de refrigeración natural con acumulación estructural. potencial de ahorro energético en el acondicionamiento de edificios*". Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, ETSII, 2004.
- \*Coronel J.F., "*Simulación térmica de entornos arquitectónicos. aproximación a los espacios exteriores*", Tesis doctoral, Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros, Grupo de Termotecnia, Abril 1998.
- \*Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Seminario 16, "*La eficiencia energética en la edificación*", Curso de Estudios Mayores de la Construcción CEMCO 2004: Nuevas Tendencias en la Construcción.
- \*Cook J. "*Passive cooling*", UK, Cambridge, MA, Londres : MIT Press, 1985.

## 4. DESCRIPCIÓN DEL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS CE2, Y CÓMO APLICARLO AL DISEÑO PREVIO DE EDIFICIOS CON EL FIN DE OBTENCIÓN (Y OPTIMIZACIÓN) A LA ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA [ETAPA 2]

### 4.1. Introducción

Como veíamos anteriormente en el Capítulo 2, la calificación energética de un edificio depende en primera aproximación de tres conceptos relacionados:

**El clima**, que proporciona el escenario de comparación, con diferentes severidades de periodos fríos y cálidos a lo largo del año según donde nos encontremos.

**El edificio**, en términos de su demanda de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, tanto en valores absolutos estacionales como en la distribución en frecuencias horarias y diarias o en términos finalmente de la estructura del perfil de cargas, muy dependiente del diseño de éste, su construcción y su ubicación.

**Los sistemas de climatización del edificio**, cuyo diseño y eficiencia miden la habilidad de usar lo que el clima permite para satisfacer lo que el edificio necesita.

Estos tres conceptos se concentran en dos grandes grupos en el análisis del comportamiento del consumo energético de los edificios:

Análisis de la demanda energética: el edificio (considerando la forma, su orientación, la posición frente a su entorno y las soluciones constructivas adoptadas) tiene, según el clima, una demanda de calefacción, de refrigeración y de agua caliente sanitaria.

Análisis de los sistemas de clima y generación de agua caliente sanitaria: según sus energéticos (para medidas de emisiones de CO<sub>2</sub> y el rendimiento de las máquinas).

Se simplifica el proceso de cálculo mediante el uso de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE) tanto en demandas como en sistemas. Los IEE son un cociente entre el valor real de un caso concreto y el valor de referencia establecido en las normativas de aplicación y que definiremos en adelante como el "álgebra de los indicadores".

El procedimiento analiza tanto las demandas como los rendimientos de los sistemas para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, según el esquema siguiente:

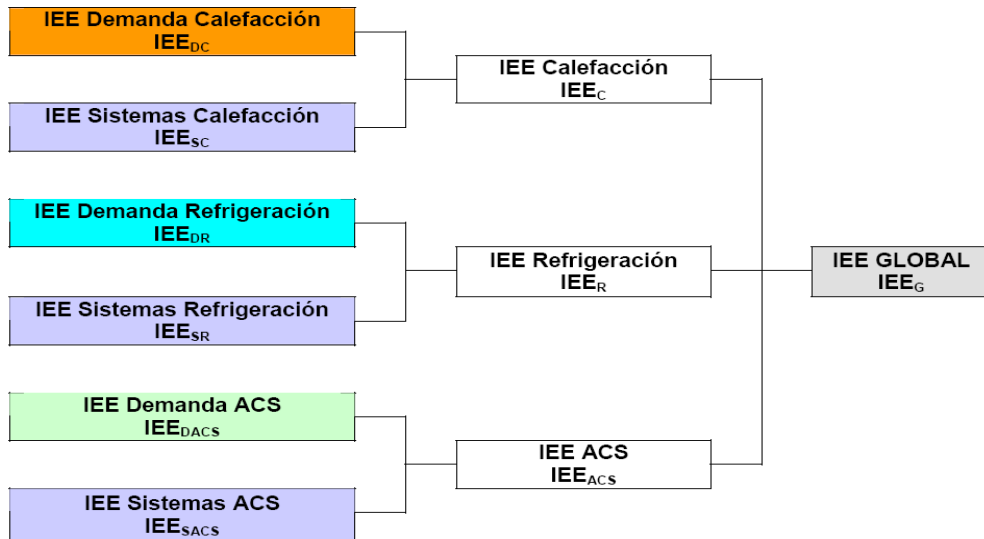


Ilustración 10 Esquema del procedimiento de Certificación de edificios

## 4.2. Estado del arte.

Con la aparición del Real Decreto 47/2007, de 19 de enero, por el que se aprueba el procedimiento para la certificación energética de edificios de nueva planta, se recoge la obligatoriedad de calificar energéticamente los nuevos edificios que se construyan desde ese momento, tanto residenciales como los destinados a uso terciario.

A partir de éste, si el proyectista no realizaba ninguna comprobación, se calificaba a su edificio con letra E, la peor posible para edificios de nueva planta.

Actualmente existen tres procedimientos reconocidos para la calificación energética de edificios residenciales de nueva planta:

En primer lugar, el procedimiento general, mediante herramientas informáticas Calener:

Se desarrolla un modelo virtual de los espacios del edificio, se genera la geometría y la disposición de sus cerramientos y huecos, así como las sombras remotas existentes en torno al modelo.

Se definen los sistemas de climatización y producción de agua caliente sanitaria que posee el edificio, así como las características técnicas de cada uno de ellos.

Los programas realizan un cálculo horario de demandas energéticas para cada espacio definido y evalúan el comportamiento de los sistemas.

El resultado que muestra el programa es la etiqueta energética obtenida (en emisiones de CO<sub>2</sub>) en comparación con el edificio de referencia normativo, con demandas (de calefacción, refrigeración y acs) y sistemas de referencia.

En segundo lugar, el procedimiento simplificado inicial, donde se podía calificar sólo como letra E o D mediante una tabla de validación, se comprobaban cierto parámetros y si se cumplían todos se obtenía la calificación D.

En tercer lugar, en 2009 aparece el "Nuevo procedimiento simplificado para la calificación energética de edificios de vivienda de nueva planta Ce2", desarrollado por el Grupo de Ingeniería Energética (Grupo de Termotecnia) de la Escuela Superior de Ingenieros de Sevilla, donde de una forma asequible, se puede calificar un edificio mediante cuatro fichas principales: datos de partida, IEE de calefacción, IEE de refrigeración y, por último, una tabla de sistemas de climatización y generación de agua caliente sanitaria. Los resultados obtenidos en cada una de éstas son trasladados a una hoja resumen donde se obtiene la calificación final, que puede ser desde la letra E a la letra A.

### **4.3. Caracterización del procedimiento simplificado de certificación de edificios de viviendas.**

La evaluación de la energética de una vivienda se realiza mediante la medición de consumos de energía según la ecuación a continuación, donde se pone de manifiesto que es directamente proporcional a la demanda e inversamente proporcional al rendimiento de los sistemas previstos para el acondicionamiento de esta.

Esta evaluación se realiza en consumos de energía primaria, consumos de energía final, o como en este caso, en que la normativa europea marca como parámetro de medición las emisiones de CO<sub>2</sub>

La Demanda Energética de cada edificio (considerando la forma, su orientación, la posición frente a su entorno y las soluciones constructivas adoptadas) tiene, según el clima, unas necesidades de calefacción, de refrigeración y de agua caliente sanitaria para obtener un confort térmico.

El análisis de los sistemas de clima y generación de agua caliente sanitaria se según sus energéticos (para medidas de emisiones de CO<sub>2</sub> y el rendimiento de las máquinas).



Se simplifica el proceso de cálculo mediante el uso de Indicadores de Eficiencia Energética (IEE en adelante) tanto en demandas como en sistemas. Los IEE son un cociente entre el valor real de un caso concreto y el valor de referencia establecido en las normativas de aplicación y que definiremos en adelante el "álgebra de los indicadores".

$$C = \frac{D}{\eta} \quad C_{referencia} = \frac{D_{referencia}}{\eta_{referencia}}$$

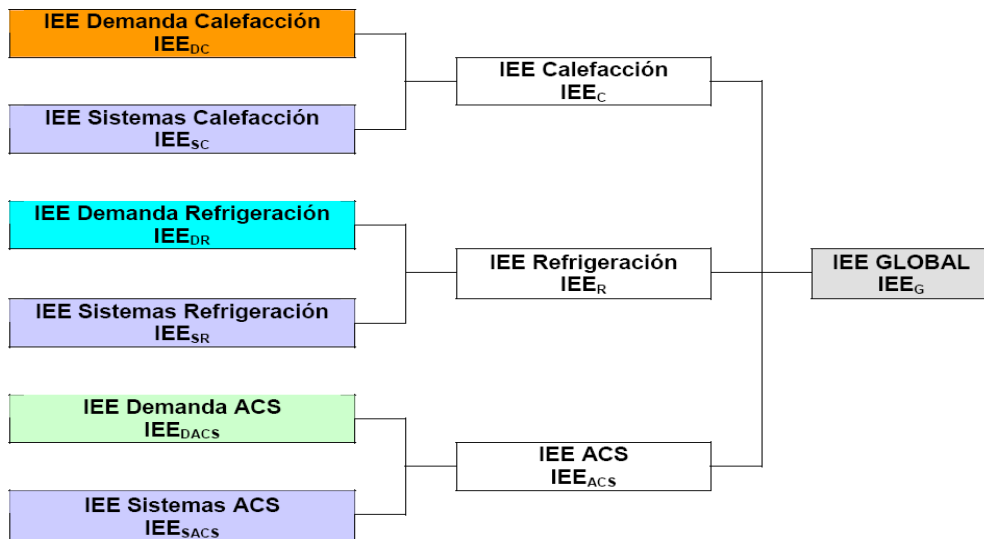
$$\frac{C}{C_{referencia}} = \left( \frac{D}{D_{referencia}} \right) \cdot \left( \frac{\frac{1}{\eta}}{\frac{1}{\eta_{referencia}}} \right)$$

$IEE = IEE_D \cdot IEE_S$

**D:** Demanda

**S:** Sistema

El procedimiento analiza para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria según el esquema siguiente, tanto las demandas como los rendimientos de los sistemas de climatización:



La caracterización de los conceptos anteriores y de su interacción se definen en términos de eficiencias que dan lugar a la siguiente expresión:

$$IEE_G = IEE_C \phi_C + IEE_R \phi_R + IEE_{ACS} \phi_{ACS}$$

Los términos independientes que multiplican a los índices de eficiencia energética de calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria son los coeficientes de reparto, que marcan cómo se reparte la energética global del edificio en función de su tipología y su localización (zona climática).

Estos coeficientes de reparto son fijos en el procedimiento simplificado Ce2, como vemos en el siguiente cuadro sacado del procedimiento, por lo que podemos conocer, a priori, cuáles son los aspectos fundamentales que se deben atajar al buscar una alta calificación energética.

**CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA GLOBAL  $IEE_G$**

	IEE demanda (a)	IEE sistemas (b)	IEE (c) = (a) x (b)	Coefficientes de reparto (d)	(e) = (c) x (d)
Calefacción	$IEE_{DC} =$	$IEE_{SC} =$	$IEE_C =$	0,42	
Refrigeración	$IEE_{DR} =$	$IEE_{SR} =$	$IEE_R =$	0,42	
ACS	$IEE_{DACS} =$ (100-contribución solar) / 50 =	$IEE_{SACS} =$	$IEE_{ACS} =$	0,16	
<b>IEE Global <math>\Sigma</math> (f)</b>					

Ilustración 11 Tabla resumen del Procedimiento de Certificación Ce2.

Para cada zona climática y tipología se marcan unos límites de clases energéticas en valores de IEE global, según la ecuación anterior; se refleja en la tabla ejemplo siguiente, de valores IEEg límites para Zona Climática B4 / Tipología: Bloques:

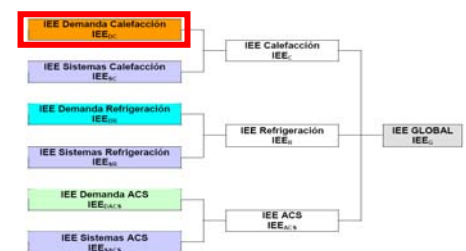
**CALIFICACIÓN ENERGÉTICA**

Indicador de Eficiencia Energética Global	Valor	CALIFICACIÓN ENERGÉTICA
$IEE_G$		

<b>A</b>	$IEE_G < 0,33$
<b>B</b>	$0,33 < IEE_G < 0,57$
<b>C</b>	$0,57 < IEE_G < 0,93$
<b>D</b>	$0,93 < IEE_G < 1,46$
<b>E</b>	$1,46 < IEE_G$

4.3.1. IEE Demanda Calefacción.

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{ventil} + \Delta IEE_{hue\ cos}$$





En primer lugar, describiremos la evaluación de la demanda de calefacción:

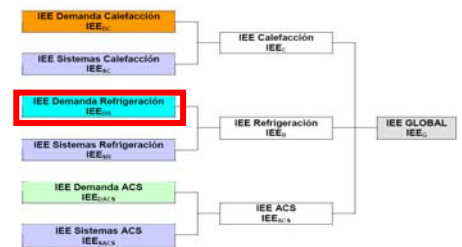
Como vemos, el Índice de Eficiencia Energética de demanda de calefacción depende de la calidad de los cerramientos opacos (IEEopaco) según sea la compacidad del edificio evaluado: a mayor compacidad y mejor transmitancia térmica de cerramientos, menor IEEopaco.

En segundo lugar, se tiene en cuenta la calidad de las soluciones con la que se resuelven los puentes térmicos (ftp); en el procedimiento estos valores son fijados según el tipo de edificio y la zona térmica donde se encuentre.

El siguiente punto es el número de renovaciones/hora que necesita el edificio (IEEventilacion), y por último, el balance entre la calidad térmica de los huecos respecto a los cerramientos opacos; esa es la razón por la que aparece como un incremento de IEE ( $\Delta IEE_{huecos}$ ).

#### 4.3.2. IEE Demanda Refrigeración.

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + \sum \Delta IEE_{Sur}$$



El Índice de Eficiencia Energética de demanda de refrigeración depende de la calidad de las protecciones solares que posean los huecos en las distintas orientaciones marcadas (Suroeste, Sureste, Este, Oeste y Sur), en función de la cantidad de huecos del edificio respecto al área acondicionada de éste, y de cuántos de ellos están bien orientados para considerarlos "huecos captadores", aquéllos que tienen más ganancias solares porque están en las direcciones predominantes.

#### 4.3.3. IEE Demanda Agua Caliente Sanitaria.

$$IEE_{DACS} = (100 - \text{contribución solar}) / 50$$



El Índice de Eficiencia Energética de demanda de agua caliente sanitaria depende de la contribución solar obligatoria de CTE\_HE4.

*IEE Sistemas.*

El Índice de Eficiencia Energética de sistemas, bien

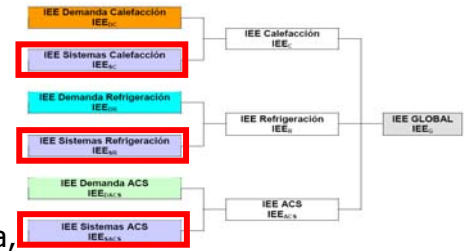
sean de calefacción, refrigeración o agua caliente sanitaria,

están tabulados según sus rendimientos medios estacionales, donde sus factores de paso son prefijados por zonas climáticas y tipologías edificatorias.

Si un edificio no posee sistemas de calefacción o de refrigeración (el de agua caliente es obligatorio por ley), se colocan valores de equipos de sustitución, como en los programas de certificación energética de la opción general (programas calener).

Estos IEEs son 1,2 para calefacción y 1,07 para refrigeración y serán muy interesantes en el procedimiento que se plantea en esta tesis, ya que la mayoría de viviendas de promoción estatal no poseen en fase de proyecto básico o ejecución la inserción de ningún proyecto de climatización, lo que da lugar a escenarios como el de la imagen siguiente, un edificio de viviendas (174 VPO en SE-30, de Nieto y Sobejano, 1999-2001) con premios nacionales de diseño, repleto de unidades exteriores de climatizadoras.

Situación original del proyecto



Situación actual (Orientación de la Fachada: Este)



Como el caso anterior, existen infinidad de ejemplos que proliferan por todas las ciudades españolas, principalmente en las de clima cálido, donde se observa la amplia repercusión de la revolución tecnológica del aire acondicionado en el mercado.



Otro ejemplo: Situación actual (orientación de la fachada: Oeste)

El prever edificios de alta calificación nos lleva, en primer lugar, al análisis de optimización de demandas energéticas y, en segundo lugar, a prever situaciones de "disconfort térmico" que habrá que solventar, bien previendo sistemas de climatización o previendo zonas de ubicación de maquinarias y preinstalaciones de climatización.

## 5. PROCEDIMIENTOS PARA OBTENCIÓN DE EDIFICIOS DE ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA / APLICACIÓN [ETAPA 3]

### 5.1. Introducción

Hasta la aparición del procedimiento simplificado Ce2, la calificación energética era vista entre la masa técnica como un fin, un papel más del proyecto, por lo que se trataba con desaires: *“dígame qué letra tengo en mi proyecto”*. Tras la obligatoriedad de presentarlo para obtener la licencia de obra, pasó a ser revisado con mayor interés. La aparición de incentivos para viviendas produjo en promotores y arquitectos un argumento de venta o un medio publicitario bastante más interesante que las repercusiones iniciales; así grandes empresas empezaban a ser sostenibles, verdes, respetuosas con el medio.

Los programas normativos eran “cajas negras” para los usuarios medios: sólo obtenían una respuesta, la calificación final del edificio, y una pequeña referencia de cómo se situaban en la escala global; así entendían cómo estaban respecto a las demás calificaciones e incluso podían plantearse una mejora en la calificación final.

Sin embargo, los pasos necesarios eran por lo general “palos de ciego” en un procedimiento desconocido, por lo que no generaban las respuestas buscadas tras decenas de pruebas.

La aparición del procedimiento simplificado ha supuesto una apertura del conocimiento técnico sobre el comportamiento energético de los edificios, en el que ya no sólo se conoce la calificación final, sino que además obtenemos los resultados parciales de calefacción y refrigeración. Asimismo, se tiene referencia continua de dónde se encuentra el edificio en cada aspecto de la energética global del mismo, las leyes de cálculo y las tablas que componen el procedimiento, por lo que puede aventurarse la dificultad o sencillez de la mejora de la calificación energética de éstos.

En concreto, el procedimiento ha sido desarrollado por el anteriormente nombrado Grupo de Termotecnia de la Universidad de Sevilla, y presenta las condiciones anteriores por el enfoque de labor didáctica que este grupo da sobre la energética edificatoria a todos sus trabajos. Por tanto, se ha podido utilizar para evaluar el efecto de medidas de mejora energéticas ampliamente conocidas, pero de las que se desconocía su repercusión sobre la demanda de energía y la calificación energética resultante.

El objetivo de este apartado es lograr caracterizar dónde se encuentra un edificio en términos de energética global, respecto a la distribución generada por la escala

de calificación energética en una localidad concreta y para una tipología determinada:

La respuesta de un edificio que cumple estrictamente los requerimientos mínimos que marca el actual código técnico de la edificación, genera una calificación concreta; conocer cómo se sitúa en el marco de la escala de calificación global y saber cuáles son las posibles mejoras de optimización del edificio, es lo que nos mostrará la viabilidad de lo que esta tesis busca.

Por ello, se piensa que si es posible obtener una calificación energética A, entonces se debe poder deducir el procedimiento para poder diseñar edificios desde fase de proyecto, sabiendo que estaremos en el entorno de la alta calificación.

## 5.2. Generación del cuadro general de *partida*

Si se crea una tabla con los Índices de Eficiencia Energética de calefacción en un eje, los Índices de Eficiencia Energética de refrigeración en el otro y fijamos el de agua caliente sanitaria, podemos rellenar cada celda con el resultado de la siguiente ecuación:

IEE ACS 0,5		IEE Refrigeración															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE Calefacción	0	$IEE_G = IEE_C \phi_C + IEE_R \phi_R + IEE_{ACS} \phi_{ACS}$															
	0,05																
	0,1																
	0,15																
	0,20																
	0,25																
	0,3																
	0,35																
	0,4																
	0,45																
	0,50																
	0,55																
	0,6																
	0,65																
	0,7																
	0,75																
	0,80																
	0,85																
	0,9																
	0,95																
1																	
1,05																	
1,10																	
1,15																	
1,2																	
1,25																	
1,3																	

Dado que conocemos los coeficientes de reparto, el resultado de los cruces para cada casilla serán IEEs globales.



Al conocer además los límites de la escala para cada zona climática y tipología edificatoria, podemos transformar estos valores globales en sus calificaciones energéticas asociadas.

IEE ACS 0,5		IEE Refrigeración															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE Calefacción	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
	0,3	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,35	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,4	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,45	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,75	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,80	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,85	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	

A	IEE <sub>G</sub> < 0,33
B	0,33 < IEE <sub>G</sub> < 0,57
C	0,57 < IEE <sub>G</sub> < 0,93
D	0,93 < IEE <sub>G</sub> < 1,46
E	1,46 < IEE <sub>G</sub>

### 5.3. Posicionamiento del “punto de partida”

Si se conocen los valores de IEE de calefacción y refrigeración, tanto en demanda como de sistemas, la zona climática y la tipología del edificio, se puede ubicar la posición del caso en el cuadro general de partida según la calificación energética global del edificio, y automáticamente se tendrán referencias respecto a las demás calificaciones posibles (ver desarrollo completo de un ejemplo en el punto 5.6).

IEE ACS 0,5		IEE Refrigeración															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE Calefacción	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
	0,3	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,35	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,4	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,45	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C
	0,75	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,80	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,85	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	

## 5.4. Tipos de movimiento sobre el cuadro general

A modo de estudio cualitativo, se mostrarán a continuación los tres tipos de movimientos posibles en el cuadro general de partida:

En primer lugar, movimientos sobre el **eje vertical, mejoras en la calefacción**, bien sea en la demanda o en los sistemas que posee el edificio.

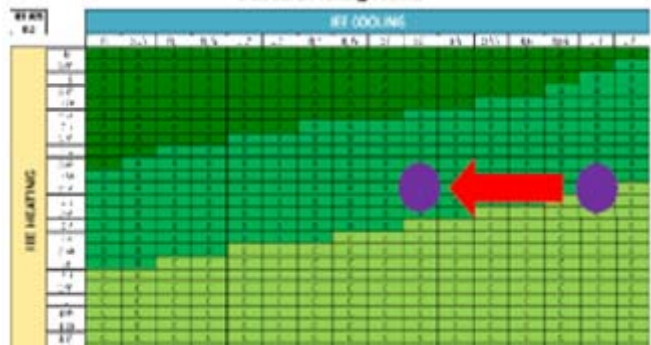
En la mejora de la demanda se pueden considerar varios escenarios posibles, tantos como aspectos dependientes posee la calefacción dentro de la energética global edificatoria, en su ecuación del procedimiento simplificado Ce2 seguido en esta tesis y descrita en puntos anteriores.



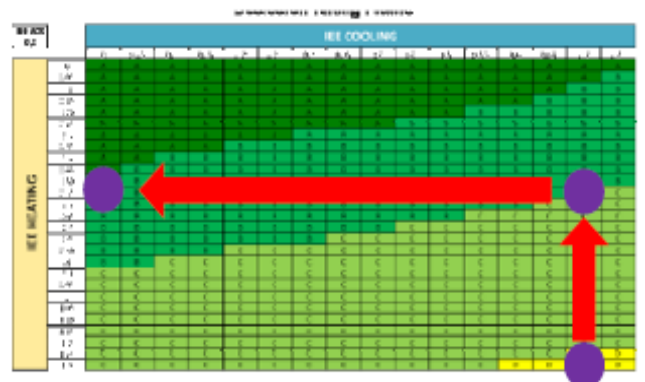
Además, se realiza un estudio cuantitativo de qué porcentaje representa el diseño asociado a la compacidad del edificio, su número de plantas, su porcentaje de huecos respecto al área acondicionada, o la calidad de construcción de sus paramentos en características de transmitancia térmicas o correcta solución de puentes térmicos; éstos entrarán a valorarse en el apartado 5.6.

En segundo lugar, movimientos sobre el **eje horizontal, mejoras en la refrigeración**, bien sea en la demanda o en los sistemas que posee el edificio.

En la mejora de la demanda se pueden considerar varios escenarios posibles, tantos como aspectos dependientes posee la refrigeración dentro de la energética global edificatoria en su ecuación del procedimiento simplificado Ce2 seguido en esta tesis y descrita en puntos anteriores.



Entre las posibilidades de movimientos anteriores (movimientos sólo en el eje vertical o sólo en el eje horizontal), existe una posibilidad más, la eliminación total de alguno de los factores, como por ejemplo, de la refrigeración, mediante un control mecánico en las renovaciones de aire interior de la vivienda y aprovechamiento



de horas escenarios de temperaturas favorables de enfriamiento gratuito (freecooling), logrando una vivienda pasiva, como se muestra en el esquema.

Otra opción es la de inclusión de renovables, calderas de biomasa, por ejemplo, que generarían un sistema de IEEsc=0 y, por tanto, anularía la parte correspondiente a calefacción.

En este caso, podemos ver cómo con la mejora de calefacción se obtiene una mejora en la calificación final hasta letra B, mientras que las mejoras en el eje de refrigeración no tienen una repercusión directa sobre la mejora de calificación final, puesto que no se ve alterada; de este modo, parece claro que en este caso se debe prestar especial atención a la mejora de calificación.

En tercer lugar, movimientos sobre combinados del **eje horizontal y vertical, mejoras en la calefacción y refrigeración** al mismo tiempo.



Sólo pueden darse por mejoras de los sistemas que posee el edificio, y sólo mediante sistemas generadores de calefacción y refrigeración, es decir, bombas de calor.

De los cuadros generales se deduce que las intervenciones de mejora o los esfuerzos previos de interés en fase de proyecto, deben recaer sobre la calefacción o refrigeración dependiendo del esquema que posea el cuadro general. Éste principalmente depende de dos factores: la zona climática de verano en que se encuentre el caso y la tipología edificatoria de que se trate.

Como se observa en los siguientes cuadros de partida, la importancia de las zonas climáticas de verano en las tabulaciones de la calificación energética final.





Figura: De izquierda a derecha, ZC de verano 4, ZC de verano 3, ZC de verano 2 y ZC de verano 1.

Si se imagina un punto de arranque común y el objetivo es obtener edificios de alta calificación energética, queda claro que no se deben enfocar de igual modo las soluciones de proyecto independientemente de la zona en la que se encuentre éste. Así, será el proyectista el encargado de analizar cuáles serán los movimientos más interesantes para alcanzar el objetivo final.

## 5.5. Aplicación del álgebra de indicadores en la toma de decisiones

Las diferencias relativas entre dos calificaciones diferentes pueden evaluarse mediante el mismo procedimiento del álgebra de indicadores.

Todos los valores de los ejes de las tablas son números adimensionales, has sido divididos por el valor de referencia, por lo que el cociente entre el valor de la posición actual y el que se quiere conseguir, muestra el valor de la mejora necesaria respecto al inicial; esto es, el tanto por ciento (%) de mejora necesario para lograr posicionarse en el cuadro de destino deseado.

IEE ACS 0,5		IEE Refrigeración															
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE Calefacción	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B
	0,3	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,35	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,4	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,45	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,75	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,80	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,85	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	

Por ejemplo, para pasar a obtener una "calificación energética final A" en este caso, se necesita mejorar el IEE de calefacción en un 30%, bien sea respecto a su IEEdc inicial o su IEEsc, o bien, en un modo proporcional entre ambos.

## 5.6. Ejemplo de aplicación

Existen dos posibilidades para la obtención de edificios de alta calificación energética dependientes del número de datos que conozca el arquitecto sobre el edificio final que busca. Es decir, éste puede saber qué edificio quiere, con qué forma, qué número de plantas, la imagen final de las fachadas, si tendrá sistemas de clima o no, etc., incluso las construcciones habituales que emplea en la ejecución de ese tipo de edificio. O por el contrario, enfrentarse a un papel en blanco, conociendo sólo el lugar y si el edificio es una vivienda unifamiliar o un bloque, pero nada más.

A continuación se describirán ambas alternativas de solución:

En ambos casos, el punto de partida será determinar la zona climática y la tipología de edificio que queremos desarrollar (unifamiliar o bloque); tomaremos como ejemplo un bloque situado en Sevilla, zona climática B4.

IEE ACS		Zona Climática B4																										
0,5		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85	0,9	0,95	1	1,05	1,1	1,15	1,2	1,25	1,3
IEE CALIF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,35	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,4	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,45	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,50	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,55	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,65	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,7	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,75	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,85	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,9	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,95	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,2	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,35	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,40	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	1,45	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
1,5	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,55	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,6	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,65	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,70	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,75	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,8	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	
1,85	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	

### I. PROCEDIMIENTO 1: OPTIMIZACIÓN DE UN EDIFICIO DE DISEÑO INICIAL CONOCIDO HASTA OBTENCIÓN DE EDIFICIO DE ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

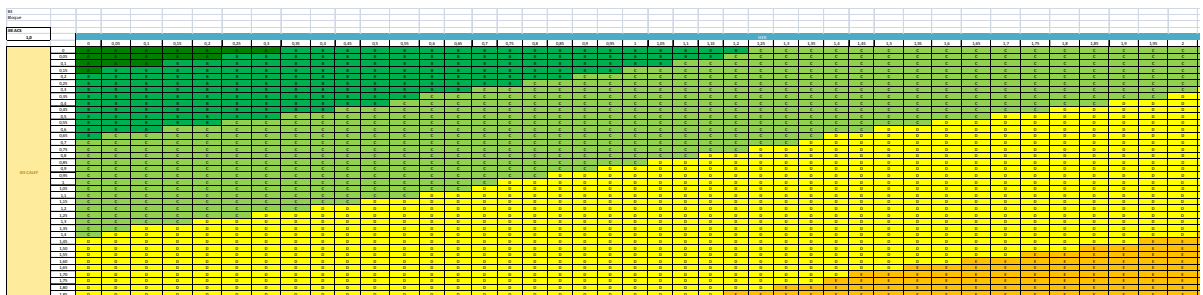
Si se conocen los elementos básicos del proyecto, podemos establecer un procedimiento para la búsqueda de soluciones que consigan las modificaciones necesarias para la obtención de una alta calificación energética:

1. En primer lugar, como se ha comentado al inicio de este punto, lo primero es establecer la zona climática en la que se encuentra el caso en concreto y si el edificio es unifamiliar o bloque.
2. En segundo lugar, se ha de determinar si el sistema de producción de agua caliente sanitaria es común o se plantea instalar sistemas de alta eficiencia. Estas dos soluciones generan dos cuadros generales de toma de decisiones anteriormente descritos: uno, donde se fija el IEEacs =1 y otro, en IEEacs =0,5.

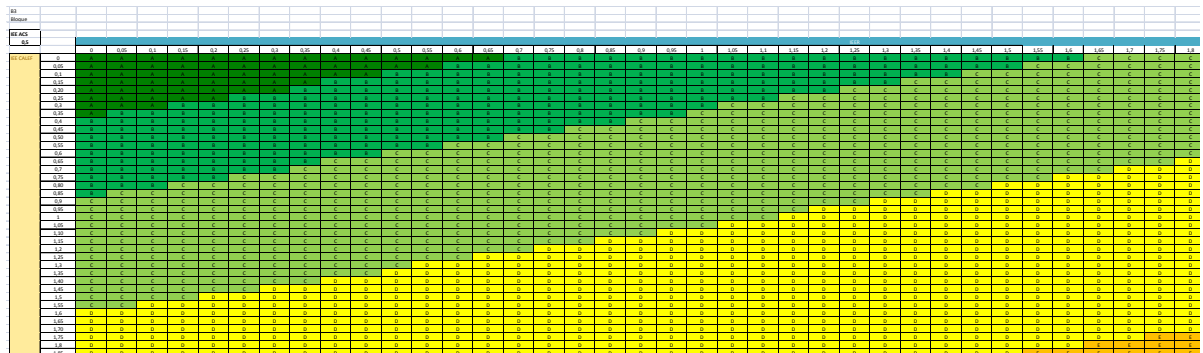
Si el índice de eficiencia energética de demanda de ACS (IEEdacs), cumpliendo el actual CTE\_HE4, es  $IEEdacs=0,6$ ; supone que para obtener un  $IEEacs=1$ , el índice de eficiencia energética de sistema de acs debe ser  $IEEsacs=1,6$ ; y que para obtener un  $IEEacs=0,5$ , el índice de eficiencia energética de sistema de acs debe ser  $IEEsacs=0,8$ .

Si analizamos las tablas de sistemas de producción de agua caliente sanitaria del procedimiento simplificado de certificación energética de edificios Ce2, se puede observar cómo dichos IEEs corresponden a sistemas eléctricos para  $IEEacs=1$  y a sistemas de producción de acs mediante calderas a gas para  $IEEacs=0,5$ .

Las tablas para ambas soluciones se muestran a continuación:



Cuadro de toma de decisiones para  $IEEacs=1$



Cuadro de toma de decisiones para  $IEEacs=0,5$

Como se puede observar, la escala queda desplazada hacia la derecha, la zona de Calificación energética "Clase A" se amplía (esquina superior izquierda de los gráficos), mientras que la de Calificación energética "Clase D" casi desaparece (esquina inferior derecha de los gráficos) para el rango de IEEs tomado en los ejes horizontal y vertical.

B3 Bloque																			
IEE ACS 0,5																			
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
IEE CALEF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,25	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,3	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,35	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,75	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,80	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,85	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C		
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D		
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D		
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D		
1,35	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D		
1,40	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,45	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,5	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,55	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,65	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,70	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,75	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,8	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,85	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		

Suponemos un sistema de alta eficiencia para la producción de acs, por ejemplo una caldera de gas natural (GN), por lo que se toma la tabla de IEEacs=0,5.

Basándonos en procedimiento simplificado de certificación energética de edificios Ce2, se tienen tres puntos fundamentales de trabajo:

- La mejora de la envuelta térmica IEE demanda calefacción.
- La mejora del control solar IEE demanda refrigeración.
- La mejora de los sistemas de climatización y producción de acs IEE sistemas.

Por tanto, esos serán nuestros tres escenarios de optimización, analizando los límites viables de mejora de cada uno de los factores que componen estos aspectos y su repercusión individual en la energética edificatoria.

3. De este modo, el tercer punto es el estudio de mejora de la envuelta térmica IEE demanda calefacción; como se marcaba en puntos anteriores, la demanda de calefacción de un edificio según el procedimiento Ce2 se rige por la ecuación:

**F<sub>DC</sub>=Bu** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN (IEE<sub>DC</sub>) UNFAMILIAR

IEE<sub>DC</sub> = IEE<sub>opaco</sub> \* f<sub>pt</sub> + IEE<sub>vent</sub> + ΔIEE<sub>huecos</sub>

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

1. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO OPACO, IEE<sub>opaco</sub>

$A_{ext}$	$U_{trans}$	$V/A_{ext}$	IEE <sub>opaco</sub>
$A_{ext} \cdot A_{ext} + A_{ext} + A_{ext}$	$U_{trans} \cdot (A_{ext} + A_{ext} + A_{ext}) + A_{ext} \cdot U_{ext} + A_{ext} \cdot U_{ext} + A_{ext} \cdot U_{ext}$	$V/A_{ext}$	IEE <sub>opaco</sub>

2. FACTOR CORRECTOR DE PUENTES TÉRMICOS, f<sub>pt</sub>

f<sub>pt</sub> = 1,19

3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA VENTILACIÓN, IEE<sub>vent</sub>

Caudal de ventilación: \_\_\_\_\_  
 Renovaciones / hora = (litros/segundo) x 10 / Volumen = \_\_\_\_\_

4. MODIFICACIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA SUPERFICIE ACRISTALADA, ΔIEE<sub>huecos</sub>

$A_{ext} / S_{ext}$	$A_{ext} / S_{ext}$	$U_{trans} - U_{trans}$	ΔIEE <sub>huecos</sub>
$A_{ext} / S_{ext}$	$A_{ext} / S_{ext}$	$U_{trans} - U_{trans}$	ΔIEE <sub>huecos</sub>

5. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN

IEE<sub>DC</sub> = IEE<sub>opaco</sub> \* f<sub>pt</sub> + IEE<sub>vent</sub> + ΔIEE<sub>huecos</sub>

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{vent} + \Delta IEE_{huecos}$$

Por ello, debemos tratar de buscar los límites de cada uno de estos factores y analizar la influencia de los mismos por separado, buscando la optimización de las soluciones. En el campo de la energética edificatoria, tomar lo mejor de cada cosa no es lo más eficiente; hay soluciones más baratas igual de eficientes, a las que llamamos "procedimiento de optimización".

**F<sub>DC</sub>-Bu** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN IEE<sub>DC</sub>

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

1. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO OPACO, IEE<sub>opaco</sub>

A <sub>ext</sub>	U <sub>trans</sub>	V / A <sub>ext</sub>	IEE <sub>opaco</sub>
A <sub>ext1</sub> + A <sub>ext2</sub> + A <sub>ext3</sub> + A <sub>ext4</sub>	U <sub>trans1</sub> + U <sub>trans2</sub> + U <sub>trans3</sub> + U <sub>trans4</sub>	V / A <sub>ext1</sub> + V / A <sub>ext2</sub> + V / A <sub>ext3</sub> + V / A <sub>ext4</sub>	

2. FACTOR CORRECTOR DE PUENTES TÉRMICOS, f<sub>pt</sub>

f<sub>pt</sub> = 1,19

3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA VENTILACIÓN, IEE<sub>vent</sub>

Renovaciones / hora = (litrossegundo) x 3,6 / Volumen = \_\_\_\_\_

IEE<sub>vent</sub> = \_\_\_\_\_

4. MODIFICACIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA SUPERFICIE ACRISTALADA, ΔIEE<sub>huecos</sub>

A <sub>ext</sub> / S <sub>ext</sub>	A <sub>ext</sub> / A <sub>ext</sub> + A <sub>ext</sub> + A <sub>ext</sub>	U <sub>trans</sub> - U <sub>trans</sub>	ΔIEE <sub>huecos</sub>

5. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN

IEE<sub>DC</sub> = IEE<sub>opaco</sub> x f<sub>pt</sub> + IEE<sub>vent</sub> + ΔIEE<sub>huecos</sub>

IEE <sub>opaco</sub>				f <sub>pt</sub>			IEE <sub>vent</sub>			ΔIEE <sub>huecos</sub>			IEE <sub>DC</sub>	CLASE
0,23	0,38	0,64	0,95	1,19	1,11	1,04	0,40	0,3	0,2	0,29	0,16	0,09		

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{vent} + \Delta IEE_{huecos}$$

Para cada concepto se toma el mínimo valor posible, el valor mínimo de cumplimiento que marca el código técnico de la edificación y un valor medio entre ambos.

En esta combinatoria se encuentran todas las soluciones posibles, sólo se deben filtrar las mejores. Pero también es un procedimiento de análisis de influencia de cada una de las medidas viables, es decir, también se pueden obtener los datos de cuál es la repercusión real de cada uno de los aspectos que rigen la demanda de calefacción por separado.

Por ejemplo, si se toma la combinación donde sólo se mejora la calidad de los cerramientos (IEE<sub>opaco</sub>) se tiene la repercusión del diseño y la construcción en la energética edificatoria.

Clase	IEE <sub>opaco</sub>	f <sub>pt</sub>	IEE <sub>vent</sub>	ΔIEE <sub>huecos</sub>	IEE <sub>DC</sub>	Clase
10	0,23	1,19	0,40	0,29	0,51	10
11	0,23	1,11	0,40	0,29	0,49	11
12	0,23	1,04	0,40	0,29	0,47	12
13	0,23	1,19	0,3	0,29	0,49	13
14	0,23	1,19	0,2	0,29	0,47	14
15	0,23	1,19	0,40	0,16	0,49	15
16	0,23	1,19	0,40	0,09	0,47	16
17	0,38	1,19	0,40	0,29	0,66	17
18	0,38	1,11	0,40	0,29	0,64	18
19	0,38	1,04	0,40	0,29	0,62	19
20	0,38	1,19	0,3	0,29	0,64	20
21	0,38	1,19	0,2	0,29	0,62	21
22	0,38	1,19	0,40	0,16	0,64	22
23	0,38	1,19	0,40	0,09	0,62	23
24	0,64	1,19	0,40	0,29	0,81	24
25	0,64	1,11	0,40	0,29	0,79	25
26	0,64	1,04	0,40	0,29	0,77	26
27	0,64	1,19	0,3	0,29	0,79	27
28	0,64	1,19	0,2	0,29	0,77	28
29	0,64	1,19	0,40	0,16	0,79	29
30	0,64	1,19	0,40	0,09	0,77	30
31	0,95	1,19	0,40	0,29	0,96	31
32	0,95	1,11	0,40	0,29	0,94	32
33	0,95	1,04	0,40	0,29	0,92	33
34	0,95	1,19	0,3	0,29	0,94	34
35	0,95	1,19	0,2	0,29	0,92	35
36	0,95	1,19	0,40	0,16	0,94	36
37	0,95	1,19	0,40	0,09	0,92	37

4. En cuarto lugar, la ubicación del punto de partida para valores básicos de cumplimiento del código técnico de la edificación.

Si se toman los valores base que cumplen estrictamente el código técnico, ubicamos el edificio en el cuadro general de toma de decisiones, desde el que poder buscar soluciones de optimización. El punto de partida de cada edificio no es siempre el mismo, es directamente dependiente del diseño y condiciones ambientales de la ubicación, por lo que según la calidad de diseño (en cuanto a energética se refiere) será más o menos viable alcanzar las altas calificaciones energéticas.





5. Si sólo mejoramos la construcción de los cerramientos opacos se obtiene:

**F<sub>DC</sub>-Bu** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN (IEE<sub>DC</sub>)

PROYECTO: UNIFAMILIAR

ICEDC = ICEDCbase A<sub>op</sub> + ICEDCvent + ICEDCbase

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

**1. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO OPACO, IEE<sub>opaco</sub>**

$A_{op} = A_{w1} + A_{w2} + A_{w3} + A_{w4}$   $U_{opaco}$   $V / A_{op}$  IEE<sub>opaco</sub>

**2. FACTOR CORRECTOR DE PUNTES TÉRMICOS, f<sub>pt</sub>**

f<sub>pt</sub> = 1,19

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA VENTILACIÓN, IEE<sub>vent</sub>**

Caudal de ventilación: \_\_\_\_\_  
 Renovaciones / hora = (litros/segundo) x 3,6 / Volumen = \_\_\_\_\_ IEE<sub>vent</sub>

**4. MODIFICACIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA SUPERFICIE ACRISTALADA, ΔIEE<sub>huecos</sub>**

A<sub>h1</sub> / S<sub>h1</sub>  $A_{h1} / A_{h2} + A_{h3} + A_{h4}$  A<sub>h1</sub> / A<sub>h2</sub> % U<sub>h1</sub> - U<sub>h2</sub> (W/m<sup>2</sup>K) ΔIEE<sub>huecos</sub>

**5. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN**

IEE<sub>DC</sub> = IEE<sub>opaco</sub> x f<sub>pt</sub> + IEE<sub>vent</sub> + ΔIEE<sub>huecos</sub>

IEE<sub>DC</sub> vs IEE<sub>global</sub> matrix showing energy efficiency levels from 0 to 0,95. A red curve indicates the path from the current state (C) to the target state (D) by improving the envelope (IEE<sub>opaco</sub>).

IEE <sub>opaco</sub>	f <sub>pt</sub>	IEE <sub>vent</sub>	ΔIEE <sub>huecos</sub>	IEE <sub>DC</sub>	CLASE									
0,23	0,38	0,64	0,95	1,19	1,11	1,04	0,40	0,3	0,2	0,29	0,16	0,09	IEE <sub>DC</sub>	CLASE
1					1	1			1			1	0,53	B
1				1					1			1	0,55	B
1				1					1			1	0,56	C
1				1					1			1	0,60	C
1				1					1			1	1,10	D
1				1					1			1	1,12	D
1				1					1			1	1,12	D
1				1					1			1	1,15	D
1				1					1			1	1,15	D

En este caso, el IEEcal es 1,15 (letra D) y el punto actual es una letra C de IEEglobal. Por tanto, la mejora sólo de la calidad de los cerramientos supone una mejora en la calificación final de este ejemplo, del 46%.

6. Buscando el óptimo para las medidas de calefacción, se obtiene que la solución es la combinación de mejora de la envuelta (IEEopaco), tratamiento base de los puentes térmicos, mejora de la ventilación mediante control de las infiltraciones y mejora de la calidad de huecos, de la que se obtiene el siguiente resultado:

**F<sub>DC</sub>-Bu** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN (IEE<sub>DC</sub>)

PROYECTO: UNIFAMILIAR

ICEDC = ICEDCbase A<sub>op</sub> + ICEDCvent + ICEDCbase

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

**1. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEL EDIFICIO OPACO, IEE<sub>opaco</sub>**

$A_{op} = A_{w1} + A_{w2} + A_{w3} + A_{w4}$   $U_{opaco}$   $V / A_{op}$  IEE<sub>opaco</sub>

**2. FACTOR CORRECTOR DE PUNTES TÉRMICOS, f<sub>pt</sub>**

f<sub>pt</sub> = 1,19

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA VENTILACIÓN, IEE<sub>vent</sub>**

Caudal de ventilación: \_\_\_\_\_  
 Renovaciones / hora = (litros/segundo) x 3,6 / Volumen = \_\_\_\_\_ IEE<sub>vent</sub>

**4. MODIFICACIÓN DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DEBIDO A LA SUPERFICIE ACRISTALADA, ΔIEE<sub>huecos</sub>**

A<sub>h1</sub> / S<sub>h1</sub>  $A_{h1} / A_{h2} + A_{h3} + A_{h4}$  A<sub>h1</sub> / A<sub>h2</sub> % U<sub>h1</sub> - U<sub>h2</sub> (W/m<sup>2</sup>K) ΔIEE<sub>huecos</sub>

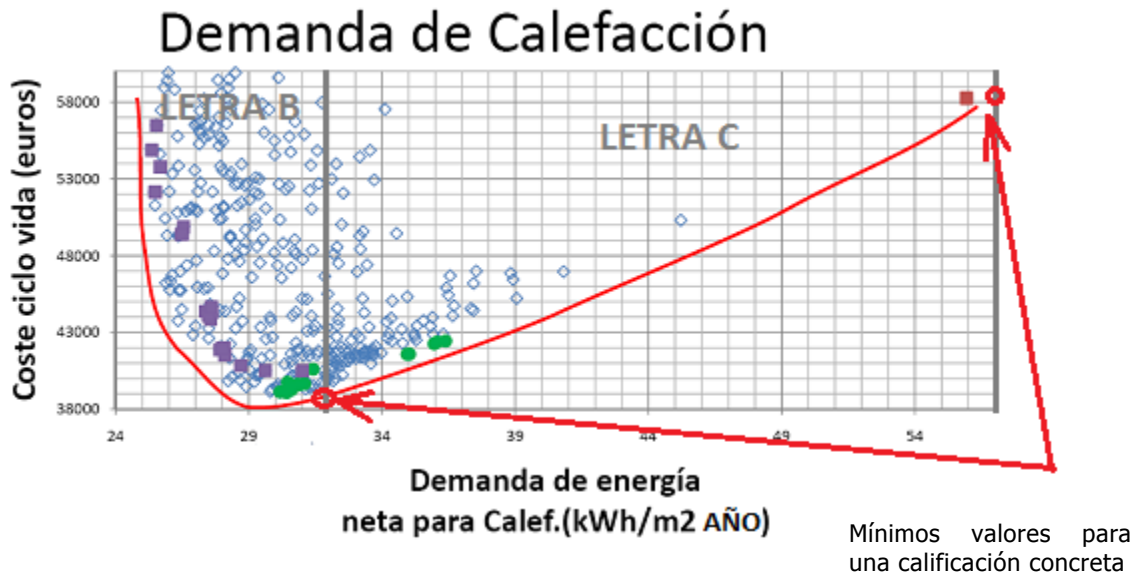
**5. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE CALEFACCIÓN**

IEE<sub>DC</sub> = IEE<sub>opaco</sub> x f<sub>pt</sub> + IEE<sub>vent</sub> + ΔIEE<sub>huecos</sub>

IEE<sub>DC</sub> vs IEE<sub>global</sub> matrix showing energy efficiency levels from 0 to 0,95. A red curve indicates the path from the current state (C) to the target state (C) by improving the envelope (IEE<sub>opaco</sub>).

IEE <sub>opaco</sub>	f <sub>pt</sub>	IEE <sub>vent</sub>	ΔIEE <sub>huecos</sub>	IEE <sub>DC</sub>	CLASE									
0,23	0,38	0,64	0,95	1,19	1,11	1,04	0,40	0,3	0,2	0,29	0,16	0,09	IEE <sub>DC</sub>	CLASE
1					1	1			1			1	0,53	B
1				1					1			1	0,55	B
1				1					1			1	0,56	C
1				1					1			1	0,60	C
1				1					1			1	0,73	C
1				1					1			1	0,73	C
1				1					1			1	0,73	C
1				1					1			1	0,75	C
1				1					1			1	0,75	C
1				1					1			1	0,75	C

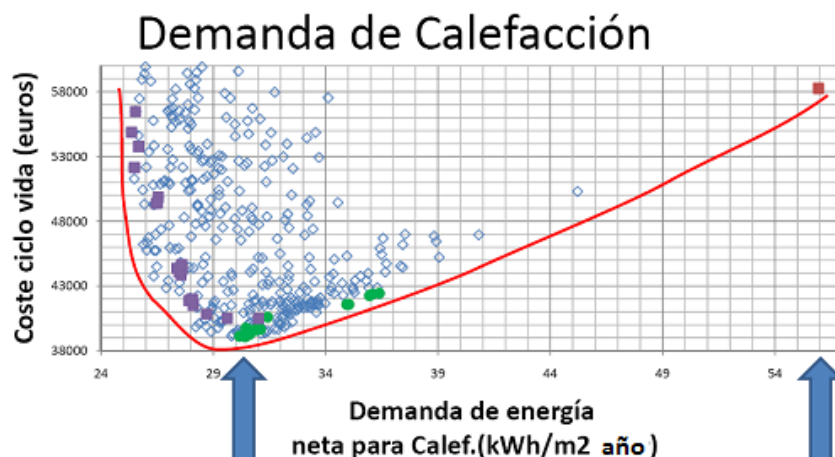
Ahora, el IEEcal es 0,75 (letra C) sabiendo que el punto actual sigue siendo una letra C de IEEglobal. Por tanto, la mejora de esta combinación respecto al caso base supone una mejora en la calificación final de este ejemplo del 60%, sólo un 20% más que la optimización tan sólo de la envuelta. Es a esto a lo que nos referimos cuando decimos que hay que optimizar las medidas y analizar la solución más interesante en cada caso.



En este caso se buscan los mínimos costes de ciclo de vida para una calificación concreta.

Por esta razón, en la versión informática se utiliza este procedimiento, ya que posibilita la obtención de la solución más económica, calculada mediante el coste del ciclo de vida (CCV) a treinta años de las soluciones de envuelta y sistemas pudiendo encontrar la solución mas recomendable para la calificación deseada.

Existe una posibilidad alternativa, el cálculo del cost-optimal, según la curva representada en la siguiente figura. Sin embargo, esta solución no es la más económica para una calificación buscada, dado que el cost-optimal es independiente de la calificación energética final obtenida. Nuestro interés es encontrar, para una calificación energética, cuál es la solución de menor coste de ciclo de vida, que seguro es una solución contenida en el frente de pareto.





7. De igual modo que se han realizado las mejoras para la envuelta térmica IEE demanda calefacción, el siguiente punto es el estudio de mejora del control solar (IEE demanda refrigeración), y como se marcaba en puntos anteriores, la demanda de un edificio según el procedimiento Ce2 se rige por la ecuación:

**F<sub>DR-4u</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN  $IEE_{DR}$  ZONA 4 TIPO UNIFAMILIAR

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/OESTE/SUROESTE**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>DR</sub>	IEE <sub>SE/O/SO</sub>
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			
			$\sum IEE_{SE/O/SO}$

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>DR</sub>	IEE <sub>S</sub>
Sur			
			IEE <sub>S</sub>

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/O/SO} + IEE_S$

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$$

8. Análogamente que con la demanda de calefacción, si se genera una tabla con los límites viables de cada aspecto incluido en la ecuación anterior y se evalúan por separado mediante una combinatoria independiente para cada uno de los casos, se obtienen todos los escenarios posibles de mejora.

**F<sub>DR-4u</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN  $IEE_{DR}$  ZONA 4 TIPO UNIFAMILIAR

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/O/SO} + IEE_S$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/OESTE/SUROESTE**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>DR</sub>	IEE <sub>SE/O/SO</sub>
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			
			$\sum IEE_{SE/O/SO}$

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>DR</sub>	IEE <sub>S</sub>
Sur			
			IEE <sub>S</sub>

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/O/SO} + IEE_S$

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$$

B3								
$\sum IEE_{SE/O/SO/E/O}$			IEES		IEEDR	CLASE		
0,00	0,00	0,00	0,26	0,13	0,03			

Para cada concepto se toma el mínimo valor posible, el valor mínimo de cumplimiento que marca el código técnico de la edificación y un valor medio entre ambos.

ZC 3	IEE calefacción			IEE refrigeración			IEE S			IEE DR	CLASE
	0,20	0,30	0,47	1,06	0,50	0,14	0,95	0,45	0,13		
1							1			2,21	E
1				1						1,21	E
1					1				1	1,39	D
1						1				1,65	E
1							1		1	1,43	D
1									1	0,81	C
1						1	1			1,29	D
1								1	1	0,79	C
1							1			0,47	D
1	1			1			1		1	2,31	E
1	1			1					1	1,81	E
1	1			1					1	1,99	E
1	1			1			1		1	1,75	E
1	1				1				1	1,25	D
1	1					1			1	1,25	D
1	1						1		1	0,93	D
1	1					1	1		1	1,99	D
1	1							1	1	0,89	C
1	1						1		1	0,57	B
1	1	1		1			1		1	2,68	E
1	1	1		1					1	1,98	E
1	1	1		1					1	1,66	E
1	1	1		1			1		1	1,92	E
1	1	1		1				1	1	1,42	D
1	1	1		1			1	1	1	1,1	D
1	1	1		1			1	1	1	1,58	E
1	1	1		1				1	1	1,06	D
1	1	1		1			1	1	1	0,74	C

En esta combinatoria se encuentran todas las soluciones posibles, sólo se deben filtrar las mejores. Pero también es un procedimiento de análisis de influencia de cada una de las medidas posibles, es decir, también se pueden obtener los datos de cuál es la repercusión real de cada uno de los aspectos que rigen la demanda de calefacción por separado.

9. Ubicación del punto de partida para valores básicos de cumplimiento del código técnico de la edificación.

Si se toman los valores base que cumplen estrictamente el código técnico, ubicamos el edificio en el cuadro general de toma de decisiones, desde el que poder buscar soluciones de optimización. El punto de partida de cada edificio no es siempre el mismo, es directamente dependiente del diseño y condiciones ambientales de la ubicación, por lo que, según la calidad de diseño (en cuanto a energética se refiere), será más o menos viable alcanzar las altas calificaciones energéticas.

**F<sub>DR-4u</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN IEE<sub>DR</sub>

TIPO: UNIFAMILIAR

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 * IEE_{SE,SO,E,O} + IEE_3$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/OESTE/SUROESTE**

Orientación de la fachada	A <sub>h</sub> / S <sub>i</sub>	F <sub>h</sub>	IEE <sub>SE,SO,E,O</sub>
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	A <sub>h</sub> / S <sub>i</sub>	F <sub>h</sub>	IEE <sub>3</sub>
Sur			

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

$IEE_{DR} = 0,47 * IEE_{SE,SO,E,O} + IEE_3$

B3

ΣIEESE/SO/E/O													IEES			IEEDR		CLASE
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,26	0,13	0,03	0,6	B	
1													1			0,73	C	

Como se observa, en este caso el IEEref es 0,73 (letra C) y el punto de partida global es una letra D.

10. Buscando el óptimo para las medidas de refrigeración, se obtiene en este caso que la solución es:

**FDR-4u** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN  $IEE_{DR}$

PROYECTO: \_\_\_\_\_ UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{sistema} + IEE_s$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/BOESTE/SUROESTE**

Orientación de la fachada	$A_{v1} / S_v$	$F_{ext}$	$IEE_{sistema}$
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			

$\sum IEE_{sistema}$

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	$A_{v1} / S_v$	$F_{ext}$	$IEE_s$
Sur			

$IEE_s$

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{sistema} + IEE_s$

B3	$\sum IEE_{SE/SO/E/O}$			IEES	IEEDR	CLASE	
	0,00	0,00	0,00				
1		1			1	0,503	B
			1		1	0,503	B
				1	1	0,503	B

Como se observa, en este caso el  $IEE_{ref}$  es 0,50 (letra B) y el punto de partida global sigue siendo una letra C.

Si se pudiese controlar por completo la ventilación de las viviendas de una forma mecánica aprovechado el freecooling, así como resolver en intensidad el tema de las infiltraciones, estaríamos ante el segundo supuesto, donde se hace cero la demanda de refrigeración. Así, desde ese punto sería mucho más fácil obtener una calificación final A, ya que la diferencia entre IEE calefacción es mucho menor que para el primer punto marcado.

11. Queda únicamente analizar el sistema que valida la ecuación de relación de IEEs actuales, bien mediante un sistema de calefacción únicamente o con una bomba de calor que actúe simultáneamente sobre la calefacción y la refrigeración.

Si tomamos éste último, será necesario que los sistemas mejoren la situación actual, tanto en calefacción como en refrigeración.

La mejora mínima queda marcada en la tabla que se muestra a continuación donde se puede observar que se necesitan sistemas mediante bombas de calor, o sistemas independientes, cuyas características sean que, para sus rendimientos medios estacionales, los IEEs obtenidos sean mejores o iguales a:

$IEE_{sist. Calefacción}: 0,20$  y  $IEE_{sist. Refrigeración}: 0,30$

IEE ACS	IEE CALIF															
0.5	0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
0,20	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,25	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,3	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,35	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,5	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,75	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,85	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,9	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
0,95	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,05	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,1	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,15	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,2	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,25	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,3	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,35	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,5	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,75	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,8	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
1,85	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B

El único sistema capaz de poseer IEEs tan bajos es una bomba de calor geotérmica, pero no llega a 0,2 en calefacción, por lo que no cumple las necesidades.

- El IEE sistema de calefacción de una bomba de calor geotérmica es 0,35
- El IEE sistema de refrigeración de una bomba de calor geotérmica es 0,23

Si las condiciones necesarias para los sistemas son tan severas, existen varios errores en el proceso.

Un error previo de diseño, ya que, una vivienda común bien diseñada desde el punto de vista energético no puede necesitar soluciones de sistemas de tan alta gama como son las calderas geotérmicas.

El segundo error que se transmite es que lo que queda en el desarrollo de estos procedimientos es el error en el mensaje, ya que lo que se difunde es que diseñar edificios de altas prestaciones energéticas es difícil, por no decir imposible, y estas opiniones son erróneas como ha quedado expuesto y descrito en este documento.

12. Las "únicas soluciones viables" para obtener en este caso una alta calificación energética son:

- Eliminar la demanda de refrigeración y así el IEE sistema de calefacción necesario será el de una caldera de 0,35.

IEE ACS		IEE															
0,5		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE CALEF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B
	0,3	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,35	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,75	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,80	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,85	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,35	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,40	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,45	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,5	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,55	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,65	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,70	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,75	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,8	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,85	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	

- Usar sistemas con renovables en calefacción y hacer cero el IEE calefacción.

Es una solución que no casa con la filosofía del que suscribe pero se debe reconocer como una solución viable.

IEE ACS		IEE															
0,5		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75
IEE CALEF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,25	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,3	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,35	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,75	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
	0,80	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,85	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C
1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,35	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,40	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,45	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
1,5	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,55	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,65	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,70	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,75	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,8	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,85	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	

## II. PROCEDIMIENTO 2: OBTENCIÓN DE EDIFICIO DE ALTA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL QUE SE DESCONOCE SU DISEÑO INICIAL

Si no se conocen los elementos básicos del proyecto, podemos establecer un procedimiento para la búsqueda de soluciones que consigan establecer las bases necesarias para la obtención de una alta calificación energética para éste, y finalizar su definición en base a estos elementos.

1. De forma análoga al procedimiento antes descrito, en primer lugar hay que establecer la zona climática en la que se encuentra el caso en concreto, y si el edificio es unifamiliar o bloque.

2. En segundo lugar, se ha de determinar si el sistema de producción de agua caliente sanitaria es común o se plantea instalar sistemas de alta eficiencia. Estas dos soluciones generan dos cuadros generales de toma de decisiones anteriormente descritos, uno donde se fija el IEEacs en uno (1) y otro en cero coma cinco (0,5).

Si el índice de eficiencia energética de demanda de ACS (IEEdacs), cumpliendo el actual CTE\_HE4, es 0,6; supone que para obtener un IEEacs =1, el índice de eficiencia energética de sistema de ACS debe ser de 1,6; y que para obtener un IEEacs =0,5; el índice de eficiencia energética de sistema de ACS debe ser de 0,8.

Si analizamos las tablas de sistemas de producción de agua caliente sanitaria del procedimiento simplificado de certificación energética de edificios Ce2, se puede observar cómo dichos IEEs corresponden a sistemas eléctricos para IEEacs=1 y a sistemas de producción de ACS mediante calderas a gas para IEEacs=0,5.

Las tablas para ambas soluciones se muestran a continuación:

Cuadro de toma de decisiones para IEEacs=1

Cuadro de toma de decisiones para IEEacs=0,5

B3 Bloque																			
IEE ACS 0,5																			
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
IEE CALEF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,25	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,3	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,35	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,75	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,80	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,85	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1,05	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1,10	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1,15	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1,2	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	1,25	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	
	1,3	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	
	1,35	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	
	1,40	C	C	C	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	
	1,45	C	C	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	
1,5	C	C	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,55	C	C	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,6	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,65	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,70	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,75	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,8	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		
1,85	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D		

Suponemos un sistema de alta eficiencia para la producción de acs, por ejemplo una caldera de gas natural (GN), por lo que se toma la tabla de IEEacs=0,5.

3. Para este procedimiento es necesario que se marque un punto final deseado, teniendo así referencias de las necesidades de demandas y sistemas; desde éstos, se marcan los condicionantes que debe cumplir el edificio. Es un procedimiento simple, ya que los valores de IEEs de demandas marcarán las características de la envuelta, la calidad de las soluciones constructivas mínimas, la calidad en la soluciones de puentes térmicos, control solar y de ventilación necesarios, etc. Por otro lado, los IEE de sistemas marcarán los tipos de sistemas necesarios a instalar en el proyecto para cumplir los objetivos.

Así señalamos una casilla de calificación final A, que sea una solución viable técnica y económicamente, por lo que de entre toda la franja de letras A no tomaremos una centrada en la zona sino justo en el borde de cambio de letra a la zona de calificación B; y de entre la línea limítrofe entre zonas de clase A y clase B, tomaremos una centrada, cogiendo en este caso la siguiente.

IEE ACS 0,5																			
		0	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	
IEE CALEF	0	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	
	0,05	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	
	0,1	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	
	0,15	A	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,20	A	A	A	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,25	A	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,3	A	A	A	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,35	A	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,4	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,45	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	
	0,50	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	
	0,55	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	
	0,6	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	
	0,65	B	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,7	B	B	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,75	B	B	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,80	B	B	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,85	B	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,9	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	
	0,95	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	C	

4. Una vez determinada cuál es el objetivo final, debemos deshacer los pasos del procedimiento simplificado Ce2 para obtener los parámetros básicos del edificio.

Con esta elección se conoce que:

- El IEE de calefacción es 0,25.
- El IEE de refrigeración es 0,20.

Se deben analizar cuáles son las soluciones que entre demanda y sistema validan las premisas anteriores, tanto para calefacción como para refrigeración.

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00		IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51		IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20		IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00		IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51		IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20	X	IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	

*Tabla 3 Cuadro de Variables posibles para la obtención de IEEs de Alta Calificación Energética*

Este procedimiento plantea las tres más obvias: que la demanda sea muy buena y el sistema malo, que la demanda sea mala y el sistema bueno o que tanto demanda como sistema sean igual de buenos. Estas tres medidas se traducen en la siguiente tabla:

Debemos analizar si las soluciones son viables o no; por ejemplo, se puede eliminar el sistema de IEE calef=0,20 porque no existe sistema alguno con un índice tan bajo; el menor es una bomba de calor geotérmica de IEEscal = 0,51.



5. Tras ello, se analizan las soluciones viables para demanda de calefacción que validan la ecuación, para lo que generaremos las tablas de combinatorias de soluciones según los pasos del procedimiento anterior de cálculo, basado en las ecuaciones del procedimiento simplificado Ce2 para obtener los parámetros básicos del edificio.

Así, como se describió anteriormente, la ecuación que rige el cálculo de IEE de demanda de calefacción es:

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{vent} + \Delta IEE_{huecos}$$

Y por tanto, si se genera una combinatoria entre los valores máximos y mínimos, obtendremos todos los valores posibles que pueden obtener el IEEdc.

$$IEE_{DC} = IEE_{opaco} \cdot f_{pt} + IEE_{vent} + \Delta IEE_{huecos}$$

IEEopaco				fpt			IEEvent			ΔIEEhuecos			IEEDC	CLASE
0,23	0,38	0,64	0,95	1,19	1,11	1,04	0,40	0,3	0,2	0,29	0,16	0,09		

De este modo obtenemos la siguiente tabla de combinaciones:

ZONA B														
IEEopaco				fpt			IEEvent			ΔIEEhuecos			IEEDC	CLASE
0,26	0,4	0,58	0,81	1,19	1,095	1,04	0,40	0,3	0,2	0,13	0,09	0,04		
1						1			1			1	0,51	B
1					1				1			1	0,52	B
1				1					1			1	0,55	B
1						1			1	1			0,56	C
1				1					1	1			0,57	C
1				1					1	1			0,60	C

Donde se observa que la mejor combinación posible tiene de IEE<sub>dc</sub>=0,51. Por tanto, en la tabla de soluciones viables marcaremos las que son posibles y las que no.

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00	X	IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51		IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20	X	IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	

Tabla 4 Cuadro de Variables posibles para la obtención de IEEs de Alta Calificación Energética

6. Tras el paso anterior, se analizan las soluciones viables para sistemas de calefacción que validan la ecuación, para lo que generaremos las tablas de combinatorias de soluciones según los pasos del procedimiento anterior de cálculo, basado en las ecuaciones del procedimiento simplificado Ce2 para obtener los parámetros básicos del edificio.

IEE Sist Cal	Aparatos Divididos	Aparatos Centralizados	BdC geotérmica		Calderas Convencionales	Calderas Condensación	Calderas Convencionales	Calderas Condensación	Calderas Convencionales	Calderas Convencionales	Efecto Joule
		Unifamiliares	Hor.	Vert.	Cble. G.N.	Cble. G.N.	Cble. GLP	Cble. GLP	Cble. Líquido	Cble. Líquido	
0.51				A							
0.53											
0.55				B							
0.57											
0.59			A	C							
0.61											
0.63				D		****					
0.65			B			***					
0.67						**					
0.69			C	E	****	*					
0.71					***						
0.73					**			****			
0.75			D		*			***			
0.77				F				**			
0.79							****	*			
0.81							***				
0.83			E			**				****	
0.85	A	A				**				***	
0.87						*				***	
0.89						*				**	
0.91			F							*	
0.93										*	
0.95	B	B							****	*	
0.97									***		
0.99									***		
1.01	C	C							**		

Tabla 5 Tabla de Sistemas de Calefacción según Tipos y IEEs

Si se examinan los índices de eficiencia energética, se observa que el menor valor para calefacción es 0,51, por lo que debemos eliminar de la tabla de soluciones las que no cumplan los requisitos.

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00	X	IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51	✓	IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20	X	IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	

7. Posteriormente se analizan las soluciones viables para demanda de refrigeración que validan la ecuación, generando para ello las tablas de combinatorias de soluciones según los pasos del procedimiento anterior de cálculo; esto está basado en las ecuaciones del procedimiento simplificado Ce2 para obtener los parámetros básicos del edificio.

Así, como se describió anteriormente, la ecuación que rige el cálculo de IEE de demanda de refrigeración es:

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$$

Y por tanto, si se genera una combinatoria entre los valores máximos y mínimos, obtendremos todos los valores posibles que puede adquirir el IEE<sub>DR</sub>.

**F<sub>DR-4u</sub>** FICHA PARA EL CÁLCULO DEL INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN **IEE<sub>DR</sub>**

PROYECTO: \_\_\_\_\_  
 UBICACIÓN: \_\_\_\_\_

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$

**1. HUECOS ORIENTADOS A SURESTE/ESTE/OESTE/SUROESTE**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>en</sub>	IEE <sub>SE/E/O/SO</sub>
Este			
Oeste			
Sureste			
Suroeste			

$\sum IEE_{SE/E/O/SO}$

**2. HUECOS ORIENTADOS A SUR**

Orientación de la fachada	A <sub>u</sub> / S <sub>u</sub>	F <sub>en</sub>	IEE <sub>S</sub>
Sur			

IEE<sub>S</sub>

**3. INDICADOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE DEMANDA DE REFRIGERACIÓN**

$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + IEE_S$$

B3	$\sum IEE_{SE/E/O/SO}$			IEES	IEEDR	CLASE
	0,00	0,00	0,00			
	0,00	0,00	0,00	0,26	0,13	0,03

De esta manera llegamos a la siguiente tabla de combinaciones:

Infiltraciones			$\Sigma$ IEESE/SO/E/O			IEES		IEEDR	CLASE	
0,20	0,30	0,47	0,73	0,34	0,10	0,65	0,30	0,09		
1					1			1	0,39	A
	1				1			1	0,49	B
1					1		1		0,6	B
1				1				1	0,63	B
		1			1			1	0,66	C
	1				1		1		0,7	C
	1			1				1	0,73	C
1				1			1		0,84	C
		1			1		1		0,87	C
		1		1				1	0,9	C
	1			1			1		0,94	D
1					1	1			0,95	D
1			1					1	1,02	D
	1				1	1			1,05	D
		1		1			1		1,11	D
	1		1					1	1,12	D
1				1		1			1,19	D
		1			1	1			1,22	D
1			1				1		1,23	D
	1			1		1			1,29	D
		1	1					1	1,29	D
	1		1				1		1,33	D
		1		1		1			1,46	E
		1	1				1		1,5	E
1			1			1			1,58	E
	1		1			1			1,68	E
		1	1			1			1,85	E

Donde se observa que la mejor combinación posible tiene de IEEDr=0,39. Por tanto, en la tabla de soluciones viables marcaremos las posibles y las que no lo son.

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00	X	IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	✓
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51	✓	IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20	X	IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	

8. Tras esto se analizarán las soluciones viables para sistemas de refrigeración que validan la ecuación; para esto generaremos las tablas de combinatorias de soluciones según los pasos del procedimiento anterior de cálculo, basado en las

ecuaciones del procedimiento simplificado Ce2 para obtener los parámetros básicos del edificio.

IEE Sist Ref	Aparatos Divididos	Aparatos Centralizados	Aparatos Centralizados	BdC geotérmica	
		Unifamiliares	Unifamiliares	Hor.	Vert.
0,23					
0,25					
0,27					A
0,29					
0,31					B
0,33					
0,35				A	C
0,37					
0,39					D
0,41					
0,43					
0,47					
0,49					
0,51					
0,55					
0,57					
0,59					
0,61					
0,63					
0,65					
0,67					
0,69					
0,71					
0,73					
0,75					
0,77					
0,79					
0,81					
0,83					
0,85					
0,87					
0,89	A	A			
0,91					
0,93					
0,95					
0,97					
0,99					
1,01					
1,03					
1,05					
1,07					

Si se estudian los índices de eficiencia energética, se observa que el menor valor para calefacción es 0,23, por lo que debemos eliminar de la tabla de soluciones las que no cumplan los requisitos.

CLASE A	CALEFACCIÓN			REFRIGERACIÓN		
	IEE CALEF = 0,25			IEE REFRIG = 0,20		
IEE <sub>ACS</sub> =0,5	IEE DC = 0,20	IEESC= 1,00	X	IEE DR = 0,19	IEESR= 1,07	X
	IEE DC = 0,51	IEESC= 0,51	✓	IEE DR= 0,45	IEESR= 0,45	✓
	IEE DC = 1,00	IEESC=0,20	X	IEE DR = 1,00	IEESR= 0,20	X

Por tanto, es viable la creación de un edificio unifamiliar en esta zona climática cuya calificación energética final es A.

El paso siguiente es dar valores a cada uno de los parámetros básicos del edificio a través de los resultados obtenidos viables; dado que sólo se obtiene una solución viable para calefacción y refrigeración, las soluciones posibles de los parámetros característicos particulares quedan muy determinadas.

9. Posteriormente, se estudian las soluciones viables para validar el resultado obtenido para el IEE de demanda de calefacción.

Así, como veíamos en la única combinación viable que validaba el IEE de demanda de calefacción, en el cuadro siguiente podemos observar que:

Esos valores hay que decodificarlos para obtener los parámetros característicos necesarios para la consecución de un proyecto final.

Para eso se deben deshacer los resultados actuales obtenidos en las mismas tablas del procedimiento simplificado Ce2, es decir, seguir las tablas en orden inverso al procedimiento normal de certificación. Esto lo hacemos en lugar de buscar, por ejemplo, desde una compacidad y una transmitancia media de cerramientos opacos un IEEopaco, ya que el dato que se posee es el propio IEEopaco, por lo que se debe "deshacer el procedimiento" buscando posibles soluciones que validen los datos de partida.

ZONA B														
IEEopaco			Uopaco				IEEopaco			Uopaco			IEEFC	CLASE
0,26	0,4	0,58	0,81	1,19	1,095	1,04	0,40	0,3	0,2	0,13	0,09	0,04		
1						1			1			1	0,51	B
1					1				1			1	0,52	B
1				1					1			1	0,55	B
1						1			1		1		0,56	C
1					1				1		1		0,57	C
1				1					1		1		0,60	C

Como vemos en la siguiente tabla, existen muchas combinaciones para obtener un IEEopaco=0,26. Es aquí donde el arquitecto comienza a determinar ciertos parámetros del proyecto final; esto es, en función del área de parcela y el número de plantas, cada tipología edificatoria posee unos rangos de compacidades determinados, por lo que en edificios más compactos se pueden utilizar soluciones constructivas de menor nivel de exigencia con las transmitancias térmicas, mientras que si es un edificio poco compacto, será necesario contrarrestarlo con unos cerramientos con condiciones técnicas mucho más severas.

Compacidad	Uopaco														
	0,15	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,5	0,55	0,6	0,65	0,7	0,75	0,8	0,85
0,6	0,26	0,34	0,42	0,50	0,58	0,66	0,74	0,82	0,90	0,98	1,06	1,14	1,22	1,30	1,38
0,7	0,24	0,32	0,39	0,47	0,54	0,62	0,69	0,77	0,84	0,92	0,99	1,07	1,14	1,22	1,29
0,8	0,22	0,29	0,36	0,43	0,50	0,57	0,64	0,71	0,78	0,85	0,92	0,99	1,06	1,13	1,20
0,9	0,20	0,27	0,33	0,40	0,46	0,53	0,59	0,66	0,72	0,79	0,85	0,92	0,98	1,05	1,11
1	0,17	0,23	0,29	0,35	0,41	0,47	0,53	0,59	0,65	0,71	0,77	0,83	0,89	0,95	1,01
1,1	0,16	0,21	0,27	0,32	0,37	0,43	0,48	0,54	0,59	0,64	0,70	0,75	0,81	0,86	0,91
1,2	0,14	0,19	0,24	0,29	0,34	0,39	0,44	0,49	0,54	0,59	0,64	0,69	0,74	0,79	0,84
1,3	0,13	0,18	0,22	0,27	0,32	0,36	0,41	0,45	0,50	0,55	0,59	0,64	0,68	0,73	0,78
1,4	0,13	0,17	0,21	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,46	0,51	0,55	0,59	0,63	0,68	0,72
1,5	0,12	0,16	0,20	0,24	0,27	0,32	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51	0,55	0,59	0,63	0,67
1,6	0,11	0,15	0,19	0,22	0,26	0,30	0,33	0,37	0,41	0,44	0,48	0,52	0,55	0,59	0,63
1,7	0,10	0,14	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45	0,49	0,52	0,56	0,59
1,8	0,10	0,13	0,16	0,20	0,23	0,26	0,30	0,33	0,36	0,39	0,43	0,46	0,49	0,53	0,56
1,9	0,09	0,12	0,15	0,18	0,22	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,40	0,44	0,47	0,50	0,53
2	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,35	0,38	0,41	0,44	0,47	0,50
2,1	0,09	0,12	0,14	0,17	0,20	0,23	0,25	0,28	0,31	0,34	0,37	0,39	0,42	0,45	0,48
2,2	0,08	0,10	0,13	0,16	0,19	0,21	0,24	0,27	0,30	0,32	0,35	0,38	0,40	0,43	0,46
2,3	0,08	0,10	0,13	0,16	0,18	0,21	0,23	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,41	0,44
2,4	0,08	0,10	0,13	0,15	0,18	0,20	0,22	0,25	0,27	0,30	0,32	0,34	0,37	0,39	0,42
2,5	0,07	0,10	0,12	0,14	0,17	0,19	0,21	0,24	0,26	0,28	0,31	0,33	0,35	0,38	0,40

Igualmente se debe desarrollar el valor asociado a las soluciones de puentes térmicos, el control en la ventilación y la calidad de los huecos.

## 6. PROGRAMACIÓN DE LA APLICACIÓN DESCRITA MEDIANTE HERRAMIENTA INFORMÁTICA.

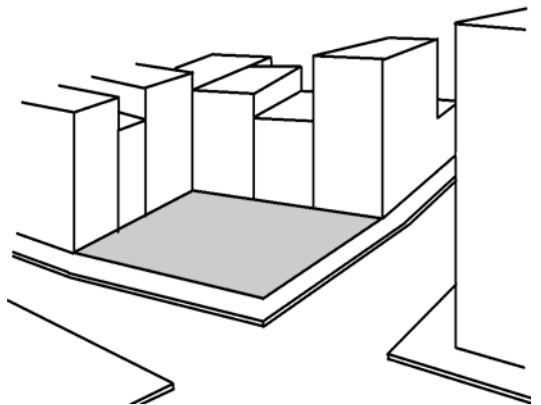
### 6.1. Introducción

Se muestra a continuación la descripción del desarrollo de la programación de la herramienta informática según el procedimiento antes desarrollado.

Es necesario generar un mecanismo rápido de evaluación y análisis de las soluciones viables que sea independiente, por un lado, de la tipología arquitectónica básica y, por otro, de sus variables posibles (el número de plantas del edificio, el porcentaje de huecos por fachadas, etc.), ya que, como se comentaba al inicio de esta tesis, el arquitecto no conoce a priori qué tipología tomará finalmente su proyecto ni qué soluciones constructivas adoptará finalmente y, mucho menos, si tendrá sistemas de climatización ni de qué tipo.

El procedimiento planteado genera, desde un número mínimo de datos que sí conoce el arquitecto desde el inicio, una combinatoria de casos reales que se resolucionan, facilitando respuestas iniciales a tener en cuenta para el diseño definitivo del proyecto. Estos datos fijos de partida del arquitecto, ya nombrados anteriormente, son:

- Localidad en la que se ubica el futuro edificio.
- Superficie de la parcela y longitudes de cada lado, incluyendo la normativa local.
- Posición de la parcela en la manzana.
- Orientación de la "fachada principal" marcada por el planeamiento.
- Número de plantas máximo que puede tener el edificio marcada por el planeamiento
- Número de plantas de los edificios colindantes y sus ubicaciones respecto a la parcela de estudio.



Por consiguiente, también se conocen los siguientes elementos, y que consideraremos como datos para nuestros casos:

- Posición y altura de los edificios colindantes y próximos a nuestra parcela de estudio.

Todos estos parámetros son variables independientes fijas para nuestro procedimiento. A partir de éstos, queda determinada la superficie de planta, la longitud de la fachada principal, su orientación, la posición de los edificios colindantes y las sombras que generan, pero se permite la posibilidad de evaluar los resultados de diferentes tipologías edificatorias, varios números de plantas, varios porcentajes de huecos por fachadas y orientaciones, varios tipos de soluciones constructivas, así como varios sistemas de climatización y producción de agua caliente sanitaria (ACS).

Se han caracterizado las tipologías edificatorias básicas, incluyendo la delimitación de las variables independientes de cada una de ellas, junto a los valores y rangos posibles que pueden tomar las variables dependientes de éstos: porcentaje acristalado por fachadas en función de la orientación, número de plantas, sistemas constructivos posibles tipos de ventanas (carpinterías y vidrios), puentes térmicos generados, sombras propias y remotas del edificio y su entorno y determinación de los sistemas de climatización y generación de agua caliente sanitaria que puede poseer un edificio.

Se genera así una combinatoria de edificios viables para su análisis. En concreto se originan, en cada edificio base, 48384 casos para cada tipología y área de planta en una localidad concreta. En la medida en que el proyectista conozca o determine (o no tenga margen para la intervención) características o dimensiones de alguna de las variables, puede fijarla con el valor determinado que ésta posee y disminuir el número de combinaciones posibles hasta llegar a ser único cuando haya establecido todas y cada una de las variables.

La metodología general comprende actividades repartidas en seis tareas diferentes:

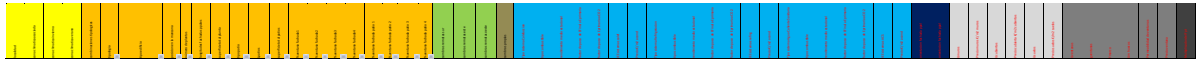
- Selección de los casos base (a partir de los parámetros iniciales conocidos) y generación de combinatorias de variables a modificar (generación de 48384 casos a evaluar para cada elección de valores iniciales del grupo de las variables independientes).
- Obtención de la calificación energética de los casos propuestos mediante el procedimiento simplificado de certificación energética de edificios de nueva planta Ce2.
- Análisis del coste del ciclo de vida de cada una de las soluciones anteriores.



- Doble filtrado de resultados que satisfacen las premisas iniciales, filtrado tanto por la calificación energética final deseada como por el coste de ciclo de vida menor de los que cumplen la primera condición.
- Análisis y evaluación de los parámetros con los que se obtienen los resultados marcados.
- Generación de casos definitivos con las modificaciones finales y evaluación de éstos.
- Definición final del edificio.

Cuanto más datos conozca el arquitecto, menos variables de cálculo existirán y, por tanto, menos combinaciones posibles; el límite será que se definan todas las variables posibles, por lo que sólo se generaría el análisis de un único caso.

Las variables de cálculo empleadas desde la que se generan las combinaciones son las siguientes (48384 combinaciones):



- Ubicación, zona climática (1 variable).
- Definición tipológica del edificio (6 variables).
- % de sombras remotas por orientaciones (1 variable).
- % de sombras propias (4 variables).
- Características de sistemas (7 variables).
- Orientación de la fachada principal (1 variable).
- Soluciones de construcciones de cerramientos (10 variables).
- Soluciones de puentes térmicos (3 variables).
- Soluciones de ventilación nocturna (3 variables).
- Soluciones de construcciones de huecos (4 variables).

## 6.2. Descripción de las variables de cálculo

Las características que componen cada una de las variables son las que se describen a continuación; la enumeración y justificación de valores adoptados en éstas son redactadas en el Capítulo 7 de este documento.

### • **Ubicación, zona climática (1 variable)**

- Sólo se permite introducir una localidad de cálculo en la automatización ya que la situación del edificio se entiende como independiente al resto de las variables posibles.

Se contemplan:

- Localidad.
- Zona climática asociada.
- Demandas de calefacción y refrigeración de referencia.



### • **Definición del edificio (6 variables)**

- Se pueden introducir tantas variables de cálculo de la definición de las combinaciones tipológicas en la automatización como se deseen; por lo general, para una tipología concreta suelen generarse 6 variables.

Se han escrito líneas completas de combinaciones para evitar las que no tienen sentido, por lo que sólo hay que marcar las líneas más interesantes para cada estudio. Esto se puede realizar de una forma fácil, mediante el filtrado por columnas de los datos que interesan; por ejemplo, filtrado por tipología, número de plantas, longitud de fachada principal, tipo de patio y porcentaje de huecos por fachadas y patios, etc.

Cuantas más decisiones queden predefinidas, menos combinaciones se obtendrán, y menor tiempo se requerirá para su resolución posterior.

Se seleccionan filas completas de combinaciones tipológicas formadas por:

- Tipología.
- Posición en la manzana.
- Número de plantas.
- Longitudes de fachadas principales.
- Superficie total de planta.
- Tipo de patio.

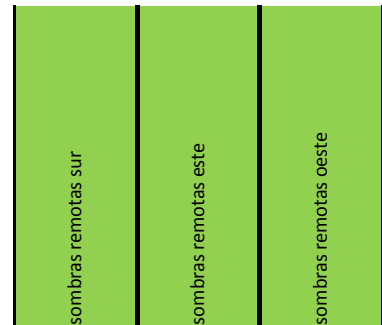
- Longitudes de fachada principal de patio.
- Superficie total de patios.
- % de ventana por fachadas.
- % de ventana por fachada de patios.

tipología	tipo edificio	posición en la manzana	número de plantas	longitudes fachadas ppales	superficie total planta	tipo patio	n.º patios	superficie total patios	%ventana fachada1	%ventana fachada2	%ventana fachada3	%ventana fachada4	%ventana fachada patio 1	%ventana fachada patio 2	%ventana fachada patio 3	%ventana fachada patio 4
-----------	---------------	------------------------	-------------------	----------------------------	-------------------------	------------	------------	-------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------	--------------------------

- **Porcentaje de sombras remotas por orientaciones (1 variable)**

- Al igual que con la ubicación del edificio, sólo se permite introducir en la combinatoria un porcentaje de sombras remotas por cada orientación, ya que la situación de los edificios anexos al edificio de estudio, u objetos generadores de sombras, se entienden como intrínsecos a la parcela e independientes al de las variables posibles.

Este porcentaje de sombra se puede calcular de forma simplificada gracias a la gráfica incluida en los anexos siguientes donde, en función de la configuración del perfil de la calle y en función de la altura de los edificios, se obtiene el porcentaje de sombra para las orientaciones deseadas.



Se contemplan:

- Sombras remotas en el Sur.
- Sombras remotas en el Este.
- Sombras remotas en el Oeste.

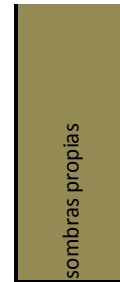
- **Porcentaje de sombras propias (4 variables)**

- En principio no se debe seleccionar un porcentaje de sombras propias a menos que se conozca el tipo de sombreado que se proyecta y su comportamiento térmico. El procedimiento, entonces, introduce inicialmente en la combinatoria cuatro valores de porcentajes de sombras propias, correspondientes a protecciones solares comunes (toldos, lamas, voladizos superiores, etc.), para las que son de interés realizar un estudio pormenorizado del resultado obtenido en cada uno de ellos. Estos

generadores de sombras se entienden dependientes a las variables posibles de ubicación del edificio en la parcela.

Se contemplan:

- Porcentaje de sombras propias del 20%.
- Porcentaje de sombras propias del 40%.
- Porcentaje de sombras propias del 60%.
- Porcentaje de sombras propias del 80%.



• **Características de los sistemas (7 variables)**

- Se pueden introducir tantas variables de cálculo de la definición de los sistemas de climatización y generación de agua caliente sanitaria como se deseen; por lo general, la base de datos introduce siete variables. Estos valores son modificables y ampliables siempre que se desee.

Para calefacción, refrigeración y agua caliente sanitaria, las variables son:

- Tipo de sistema.
- Tipo de combustible.
- Rendimiento medio estacional.
- Factor de paso de energía final a energía primaria.
- Factor de paso de energía primaria a CO<sub>2</sub>.
- Precio €/m<sup>2</sup> acondicionado.

Se incluyen los precios en (€/m<sup>2</sup>) para el cálculo del coste del ciclo de vida (a treinta años) de entre las soluciones desde las que poder filtrar los resultados más interesantes.

Tipo sistema Refrigeración	tipo combustible	rendimiento medio estacional	factor de paso de EFinal a Eprimaria	factor de paso de Eprimaria a CO2	IEE sistemas refirg	Precio €/m2 acond
----------------------------	------------------	------------------------------	--------------------------------------	-----------------------------------	---------------------	-------------------

- **Orientación de la fachada principal (1 variable)**

- Al igual que con la ubicación del edificio, sólo se permite introducir en la combinatoria una orientación de la fachada, ya que la situación del edificio se entiende como independiente al resto de las variables posibles.

orientación fachada ppal

orientación fachada ppal

- **Soluciones de construcciones de cerramientos (8-12 variables)**

- Se pueden introducir tantas variables de cálculo de la definición de las soluciones constructivas como se deseen; por lo general, la base de datos introduce diez variables. Estos valores son modificables y ampliables siempre que se desee.

Para evitar combinaciones sin sentido, se han generado líneas completas de combinaciones de muros, cubiertas y suelos, como la mejor transmitancia posible de cerramientos con la cubierta mínima, exigida por el actual Código Técnico de la Edificación.

A las ocho combinaciones iniciales se les añaden cuatro más generadas por la inclusión de dos soluciones de muros trombe y otros dos de fachadas ventiladas (el procedimiento de inclusión de estas soluciones especiales quedan justificadas en el apartado 7 de este documento).

Del estudio de estas cuatro soluciones alternativas, dependientes de la zona climática de estudio y del tipo de edificio que se esté analizando, se obtienen cuatro transmitancias de muros. Éstas son comparadas a los valores que ya se tenían de soluciones constructivas tradicionales: si son valores de transmitancias resultantes inferiores a las anteriores, se suman a la base de datos de variables para la combinatoria; si son superiores, se entiende que no es necesario el cálculo ya que resultaría redundante, por lo que no se añaden. De ahí que resulten ocho o diez variables de cálculo.

Al igual que anteriormente, se incluyen los precios en (€/m<sup>2</sup>) para el cálculo del coste del ciclo de vida (a treinta años) de entre las soluciones desde las que poder filtrar los resultados más interesantes.

Tanto para muros, cubiertas y suelos, las variables que se contemplan son:

- Transmitancia U (W/m<sup>2</sup>K) para cada uno de ellos.
- Precio de la solución tomada (€/m<sup>2</sup>) para cada uno de ellos.

Umuros	Precio muros €/m <sup>2</sup> muros	Ucubiertas	Precio cubierta €/m <sup>2</sup> cubiertas	Usuelos	Precio suelos €/m <sup>2</sup> suelos
--------	-------------------------------------	------------	--	---------	---------------------------------------

- **Soluciones de puentes térmicos (3 variables)**

- En principio, no se debe seleccionar una solución de puentes térmicos a menos que se conozca el tipo de solución que se proyecta y su comportamiento térmico. El procedimiento introduce en la combinatoria tres valores de factores correctores de los puentes térmicos básicos; además, mediante las soluciones constructivas más comunes, se obtienen tres esquemas de tratamiento de puentes térmicos más o menos rígidos.

Se contemplan:

- Factores correctores de los puentes térmicos 1,00.
- Factores correctores de los puentes térmicos 0,80.
- Factores correctores de los puentes térmicos 0,50.

Aparece como multiplicador de puentes térmicos porque directamente se calcula con un factor corrector sobre un tipo de puente térmico base.

- **Soluciones de ventilación nocturna (3 variables)**

- Al igual que con el tratamiento de los puentes térmicos, en principio no se debe seleccionar una solución de ventilación nocturna a menos que se conozca el tipo de solución que se proyecta y sus requerimientos técnicos. El procedimiento introduce en la combinatoria tres valores de factores correctores de la demanda de refrigeración mediante la inclusión de medidas sobre la ventilación nocturna básica.

En función de las renovaciones/hora programadas para la ventilación nocturna de las estancias, varía en gran medida la demanda de refrigeración del edificio.

De este modo, se implementan:

- Niveles de ventilación nocturna de 4 renovaciones/hora.
- Niveles de ventilación nocturna de 8 renovaciones/hora.
- Niveles de ventilación nocturna de 10 renovaciones/hora.

La influencia particular sobre la demanda de refrigeración de cada una de estas medidas aparece reflejada en la sección correspondiente de los anexos siguientes.

Multiplicador del F<sub>pt</sub>

Ventilación nocturna en Renovaciones Hora

- **Soluciones de construcciones de huecos (4 variables)**

- Se pueden introducir tantas variables de cálculo de la definición de las soluciones constructivas de huecos como se deseen; por lo general, la base de datos introduce cuatro variables. Estos valores son modificables y ampliables siempre que se desee.

Al igual que anteriormente, para evitar combinaciones sin sentido se han generado líneas completas de combinaciones de vidrios y marcos, como la mejor transmitancia posible de acristalamiento con el marco mínimo.

Se incluyen los precios en (€/m<sup>2</sup>) para el cálculo del coste del ciclo de vida (a treinta años) de entre las soluciones desde las que poder filtrar los resultados más interesantes.

Así, se contemplan:

- Transmitancia U (W/m<sup>2</sup>K) ventanas para cada una de ellas.
- Factor solar de la ventana (g).
- Factor solar del marco.
- Transmitancia media de huecos Um (W/m<sup>2</sup>K) para cada una de ellas.
- Permeabilidad de ventanas.
- Precio de ventana (€/m<sup>2</sup>) para cada una de ellas.



### 6.3. Desarrollo de ejemplos de aplicación mediante la herramienta informática planteada

Se describen a continuación tres ejemplos para mostrar la aplicabilidad de la herramienta en el mundo de la arquitectura y el planeamiento urbanístico mediante el desarrollo, resolución y análisis de los resultados obtenidos para la descripción del procedimiento; con esto, se pretende analizar el comportamiento y el potencial de la herramienta generada en todos los ámbitos de la intervención de la arquitectura, desde la gran escala (en la optimización energética del planeamiento y ordenación de nuevas parcelas y loteo del territorio), a la pequeña escala (en el desarrollo y optimización de proyectos de viviendas de altas prestaciones energéticas desde las fases de anteproyecto).

- 1. EJEMPLO 1:** Urbanización de nuevos territorios y parcelas.
- 2. EJEMPLO 2:** Diseño y optimización de un edificio concreto de tipología determinada para la obtención de edificios de altas prestaciones energéticas.
- 3. EJEMPLO 3:** Obtención de valores límite generales para los parámetros característicos básicos, que orienten al proyectista en la viabilidad de obtención de edificios de altas prestaciones energéticas.

Independientemente del tipo arquitectónico empleado, hay que destacar que una parte fundamental de estos procedimientos es el tiempo empleado para el análisis y la resolución de las combinaciones anteriormente expuestas, en función del número de variables independientes tomadas; esto es, al tratarse de una programación en Microsoft Excel<sup>®</sup>, el tiempo de respuesta varía según el número de combinaciones necesarias en cada caso, sabiendo que cada una de ellas supone escribir una nueva fila. Claramente se puede prever que los límites de cálculo del procedimiento, en función del número de variables que se obtienen, son diferentes en cada caso<sup>5</sup>.

#### **EJEMPLO 1: El caso de urbanización de nuevos territorios y parcelas.**

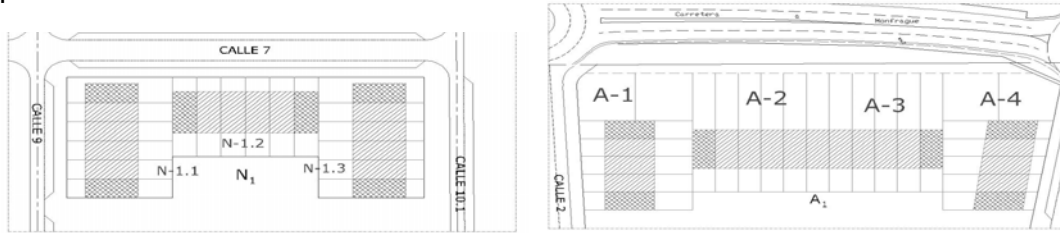
Como se viene describiendo a lo largo del presente estudio, el diseño y la orientación son piezas clave para la obtención de altas prestaciones energéticas en las edificaciones; sin embargo, gran parte de la responsabilidad en las decisiones previas, como la orientación, son tomadas con antelación por parte del planeamiento y sus figuras de desarrollo. La optimización energética del planeamiento y la ordenación de nuevas parcelas con el loteo del territorio, son

---

<sup>5</sup> Cálculos realizados con un procesador con las siguientes prestaciones: Intel® Core™2 DUO CPU T9400 @2,53GHz y 4,00Gb RAM.



necesidades actuales para entes públicos que planean los futuros desarrollos urbanísticos de sus territorios, para los desarrolladores de éstos o para la promoción por concurso, donde se proponen las soluciones más viables para la implantación.



Estos estudios iniciales pueden destinarse, por un lado, a marcar la tipología edificatoria preferente para el desarrollo urbanístico de ciertas zonas o, por otro, para el análisis de cuáles son las que obtienen mejor energética global para el sector.

Por tanto, desde el inicio quedan fijadas muchas de las variables de cálculo, como por ejemplo, en las viviendas de promoción pública, que generalmente no poseen sistemas de climatización, donde se determina la superficie y el número de plantas.

Por ello, la tabla de variables "fijadas" y "libres" en las combinaciones de edificios modelos de cálculo queda de la siguiente manera:

- Ubicación, zona climática (fijada).
- Definición tipológica del edificio (8 variables).
- % de sombras remotas por orientaciones (fijada).
- % de sombras propias (fijada).
- Características de sistemas (fijada).
- Orientación de la fachada principal (fijada).
- Soluciones de construcciones de cerramientos (12 variables).
- Soluciones de puentes térmicos (3 variables).
- Soluciones de ventilación nocturna (3 variables).
- Soluciones de construcciones de huecos (4 variables).

El número de combinaciones se reduce en torno a 3.500, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo, no llegando a una hora<sup>6</sup>. Es interesante conocer estos

---

<sup>6</sup> Tiempo de cálculo obtenido para un procesador con las siguientes prestaciones: Intel® Core™2 DUO CPU T9400 @2,53GHz y 4,00Gb RAM.

aspectos ya que, en función de las decisiones tomadas, se necesita un mayor o menor periodo de tiempo para la obtención de resultados.

El caso en que el proyectista defina casi todas las características básicas y avanzadas de soluciones constructivas y/o de los sistemas de climatización es que se definan todas las variables, donde se escribiría y calcularía una sola combinación, es decir, una sola fila con 155 columnas, de cálculo instantáneo; aunque si se deja alguna variable libre, como las soluciones constructivas o los sistemas de climatización, el número de casos de la combinatoria se encuentra en torno a 50 casos, también de resolución automática.

En esta misma línea, aparece la posibilidad del cálculo de variables tipológicas viables para una misma parcela; es decir, a una superficie de parcela dada y un número de plantas máximo, evaluar qué tipología genera mejores resultados.

De la misma manera pueden evaluarse situaciones particulares, con o sin sistemas de climatización determinado.

Este caso ha sido evaluado tanto para viviendas unifamiliares como para bloques sin sistemas de climatización, como la mayor parte de las viviendas de promoción pública, ya que parece a priori, la característica de mayor peso específico de la herramienta para el diseño de edificios energéticamente eficientes de nueva planta, en fase de anteproyecto.

- El caso unifamiliar está conformado por cuatro posibles tipologías arquitectónicas (viviendas aisladas, pareadas, entre medianeras y adosadas) situado en Sevilla, zona climática B4. A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, y no poseen sistemas de climatización; el número de combinaciones se reduce a 1.152 casos por tipología, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo.
- El caso en bloque está conformado por tres posibles tipologías arquitectónicas (edificio pareado, adosado y adosado de cabecera); colocarlo aislado sería comparar tipologías demasiado diferenciadas por sus áreas de transferencia y porcentajes acristalados para edificios en bloque. Situado en Madrid, zona climática D3. A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, y no poseen sistemas de climatización; el número de combinaciones se reduce a 1.650 casos por tipología, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo<sup>7</sup>.

También sería posible así la preevaluación para la selección de la mejor tipología edificatoria posible para la distribución de nuevas manzanas y la ocupación de nuevas parcelas.

---

<sup>7</sup> Tiempo de cálculo obtenido para un procesador con las siguientes prestaciones: Intel® Core™2 DUO CPU T9400 @2,53GHz y 4,00Gb RAM.

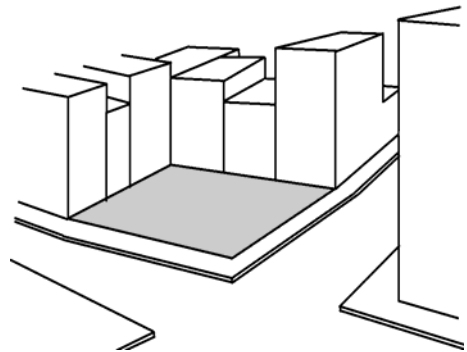
**EJEMPLO 2: El caso de optimización de un edificio concreto de tipología determinada, en que se definen sólo las características básicas.**

Si de forma anticipada se fijan muchos de los condicionantes de partida al diseño de un edificio, bien sea por parte del promotor, del propietario o de las normativas implícitas de la zona, es necesario en ciertos casos el poder estudiar cuál es la mejor solución viable que implique las mismas prestaciones con el menor sobrecoste posible.

El arquitecto ya conoce a priori qué tipología tomará finalmente su proyecto, pero no qué soluciones constructivas adoptará finalmente y, mucho menos, si tendrá un tipo de sistemas de climatización u otro.

El procedimiento planteado genera, desde un número mínimo de datos, una combinatoria de casos reales que resolucionan después, facilitando respuestas iniciales a tener en cuenta para el diseño definitivo del proyecto. Estos datos de partida del arquitecto son:

- Localidad en la que se ubica el futuro edificio.
- Superficie de la parcela y longitudes de cada lado.
- Posición de la parcela en la manzana.
- Orientación de la "fachada principal" marcada por el planeamiento.
- Número de plantas máximo que puede tener el edificio (o un rango posible).



Por consiguiente, también conocemos:

- Posición y altura de los edificios colindantes y próximos a nuestra parcela de estudio, y que consideraremos datos para nuestros casos.

Todos estos valores son variables fijadas para nuestro procedimiento, desde los que se definirán una tipología, una superficie de planta, una longitud de fachada principal pero varios números de plantas posibles, varios porcentajes de huecos por fachadas y orientaciones, varios tipos de soluciones constructivas, así como varios sistemas de clima y producción de agua caliente sanitaria.

Como resumen, para este segundo ejemplo, la tabla de variables "fijadas" y "libres" para las combinaciones son las siguientes:

- Ubicación, zona climática (fijada).

- Definición tipológica del edificio (4 variables).
- % de sombras remotas por orientaciones (fijada).
- % de sombras propias (4 variables).
- Características de sistemas (7 variables).
- Orientación de la fachada principal (fijada).
- Soluciones de construcciones de cerramientos (12 variables).
- Soluciones de puentes térmicos (3 variables).
- Soluciones de ventilación nocturna (3 variables).
- Soluciones de construcciones de huecos (4 variables).

Es el escenario en que se definen sólo las características básicas; se escriben y calculan 48.384 combinaciones, es decir, 48.384 filas con 155 columnas para cada una, lo que supone un amplio tiempo de cálculo que puede suponer días, pero que de forma manual sería inviable.

Como modelo-ejemplo, se utilizan un edificio de viviendas unifamiliar entre medianeras y otro edificio de viviendas en bloque, de características comunes a muchos de los que podemos encontrar contruidos en numerosas ciudades españolas. Se trata de un edificio unifamiliar entre medianeras de dos plantas y situado en Sevilla (B4); el otro edificio tipo, de viviendas en bloque entre medianeras de siete plantas de altura (PB+6), se sitúa en Madrid (D3).

- El primer caso son viviendas entre medianeras, con dos fachadas principales enfrentadas, con dos plantas, como ya se ha comentado, de 90m<sup>2</sup> y 150m<sup>2</sup> de planta y una longitud de fachada de 7m. con fachada principal al Sur y sin edificios colindantes próximos que le proporcionen sombras remotas.
- El segundo caso son bloques de viviendas en hilera, con siete plantas (PB+6), como ya se ha comentado, de 350m<sup>2</sup> y 240m<sup>2</sup> de planta y una longitud de fachada de 24m. y 12m. con fachada principal al Este, y edificios colindantes próximos que le proporcionan sombras remotas del 25% al Sur, 0% al Este y 0% al Oeste.

Para todas las combinaciones resultantes por separado se emplea la misma definición geométrica y orientación de la fachada principal, así como las combinaciones posteriores para soluciones constructivas, calidades en los acristalamientos, sistemas de climatización, soluciones de protección solar, cualidades particulares de las soluciones constructivas adoptadas (puentes térmicos, infiltraciones) y mecanismos de ventilación nocturna.

Estas técnicas de evaluación en fase de anteproyecto, y la posterior toma de decisiones de medidas de mejora para la obtención de edificios de alta calificación energética ya han sido puestas en práctica en proyectos actualmente en fase de ejecución, con resultados muy positivos.

Un claro ejemplo de esto, es el desarrollo del análisis y optimización energética de 39 viviendas unifamiliares de dos plantas entre medianeras, situadas en Cáceres para las que se ha estudiado la mejor solución para la inclusión e instalación de los sistemas de climatización viables en fase de proyecto básico.

Se busca por parte del promotor obtener la mejor calificación energética posible con el menor sobrecoste asociado, suponiendo inicialmente edificios con preinstalación energética, es decir, sin sistemas de climatización, por lo que las máximas aspiraciones son obtener Calificación energética C, o en algún caso extremo, Clase B.

Este proyecto inicial de optimización energética de la envuelta térmica fue comenzado con anterioridad al desarrollo de la presente tesis, mediante análisis y procedimientos de evaluación y mejora basados en los programas normativos (Calener\_Vyp) y la lectura de sus archivos de salida. Es un procedimiento más tedioso y costoso, ya que depende de la mayor o menor pericia del consultor para la toma de decisiones en la dirección que el proyectista espera, pero de resultados muy específicos e interesantes, dado que ofrecen un documento para la justificación de registro normativo, aceptado por las comunidades. Los resultados de esta fase inicial del proyecto no son de interés para el presente documento.

### **EJEMPLO 3: Obtención de valores límite generales para los parámetros característicos básicos, que orienten al proyectista en la viabilidad de obtención de edificios de altas prestaciones energéticas.**

Por último, se muestra otra capacidad de la herramienta. Es el cálculo de combinaciones destinadas a la obtención de valores límite para la obtención de edificios de altas prestaciones energéticas.

No son recomendaciones ni pautas de diseño, sino advertencias basadas en el conocimiento de las reglas que rigen la certificación energética de edificios y la profundización del uso de los procedimientos presentados.

Tanto la herramienta informática como los procedimientos presentados orientan al proyectista en la toma de decisiones para el diseño así como para la optimización.

Por tanto, empleando las aplicaciones del Ejemplo 2 anterior en orden inverso, se pueden obtener, mediante filtrados sucesivos de los resultados, valores límite desde los que se asegura la calificación energética final del edificio en cuestión, siempre teniendo en cuenta los márgenes de seguridad que implica el fundamentar el estudio en un procedimiento simplificado, que después se describirá en profundidad.

## 6.4. Resultados obtenidos / lectura e interpretación

Como se ha contemplado a lo largo del documento, existe un gran número de variables de proyecto, tanto geométricas, como constructivas, de instalaciones posibles, protecciones solares, etc. y por tanto, una gran variedad de cálculos posibles, casi infinitos, lo que conllevan un sinnúmero de soluciones que pueden o no aportar alguna información de relevancia. Por ello, hay que prestar especial atención a qué problemas se planteen, ya que el potencia de la herramienta puede ser en vano si los casos de cálculo son de poca representatividad o de poco interés investigador.

Si analizamos las soluciones obtenidas para el primer escenario de cálculo, se obtienen los siguientes resultados:

### **EJEMPLO 1: El caso de urbanización de nuevos territorios y parcelas.**

Se fijan muchas de las variables de cálculo, como en las viviendas de promoción pública, donde se fijan la superficie y el número de plantas o que generalmente no poseen sistemas de climatización, reduciendo el número de combinaciones en torno a 3.500, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo, como ya se ha comentado anteriormente.

- En esta situación se plantea el cálculo de variables tipológicas viables para una misma parcela, es decir, a una superficie de parcela dada y un número de plantas máximo, evaluar qué tipología genera mejores resultados.
- Este caso ha sido evaluado tanto para viviendas unifamiliares como para bloques sin sistemas de climatización, como la mayor parte de las viviendas de promoción pública, ya que parece a priori, la característica de mayor peso específico de la herramienta para el diseño de edificios energéticamente eficientes de nueva planta, en fase de anteproyecto.

### **ANÁLISIS DE VIVIENDA UNIFAMILIAR**

- El caso de análisis de vivienda unifamiliar está conformado por cuatro posibles tipologías arquitectónicas (viviendas aisladas, pareadas, entre medianeras y adosadas) situado en Sevilla, zona climática B4.

A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, con ocho posibles combinaciones de soluciones constructivas y sin sistemas de climatización; el número de combinaciones se reduce a 1.152 casos por tipología, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo.

## CUADRO DE DATOS DEL EJEMPLO (EDIFICIO UNIFAMILIAR)

**Vivienda unifamiliar dos plantas**

**Tipologías: aisladas, pareadas, entre medianeras y adosadas**

**Superficie de planta: 90 m<sup>2</sup> por planta.**

**Longitud de fachada principal: 7 m.**

**% acristalado 27 / 27 / 9 / 4 (N / S / E / O)**

**Orientación fachada principal: Sur**

**% Sobras propias 80% (sólo verano) / 0 / 0 (S / E / O)**

**Sin sistemas de climatización**

Se analizan los resultados obtenidos de alta calificación energética por tipologías:

- Para **TIPOLOGÍA AISLADA.**

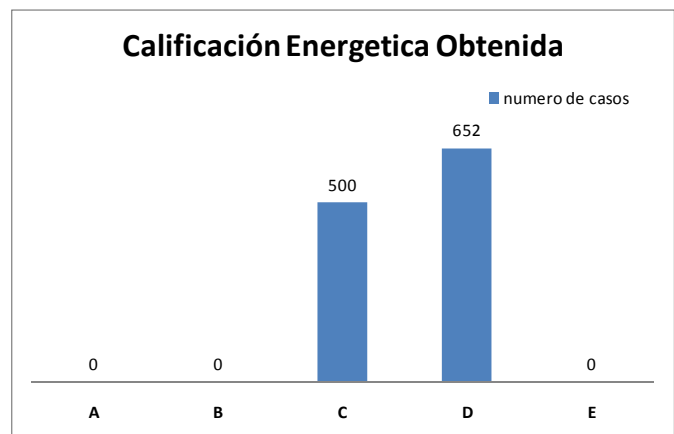
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **Letra C**.

**500 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **0.00 €/m<sup>2</sup>** y **58.66 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 27.87 €/m<sup>2</sup>**.



- Para **TIPOLOGÍA PAREADA.**

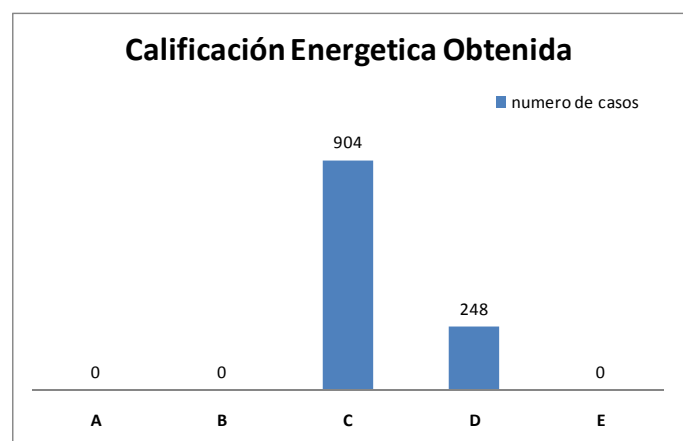
Como se ve en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **Letra C**.

**904 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **0.00 €/m<sup>2</sup>** y **52.74 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 24.03 €/m<sup>2</sup>**.



• Para **TIPOLOGÍA ENTRE MEDIANERAS.**

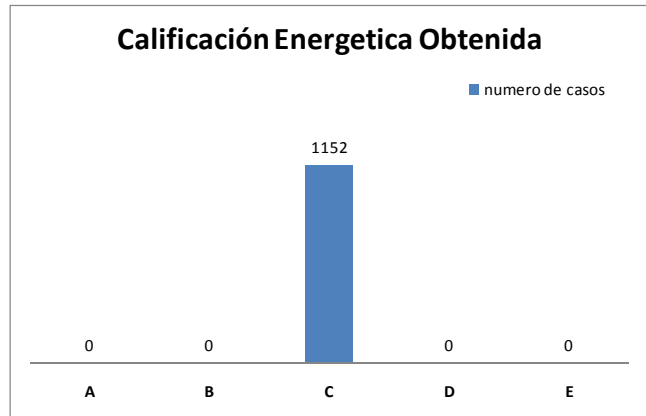
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **Letra C.**

**1.152 casos** de 1.152 casos.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **0.00 €/m<sup>2</sup>** y **33.69 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 15.55 €/m<sup>2</sup>**.



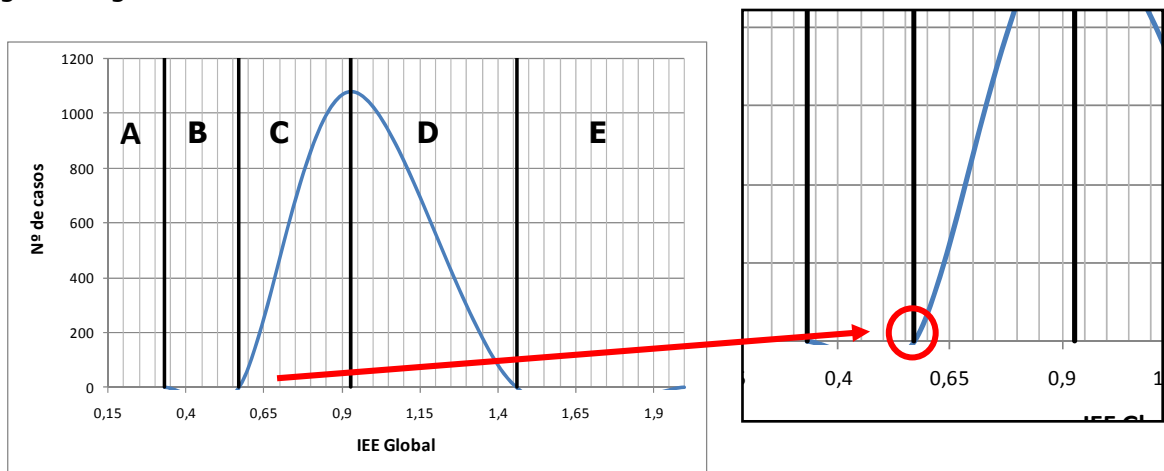
Existen algunos casos cuya IIE global es muy próxima a la **Clase B.**

**33 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación entre **1.51 €/m<sup>2</sup>** y **18.84 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **Promedio 11.96 €/m<sup>2</sup>**.

Son casos cuya IIE global es muy próxima a la Clase B, como se observa en el siguiente gráfico:



Si se desarrolla alguno de estos casos mediante el procedimiento general, casi con plena seguridad estará calificado como Clase B, como se detalla en las conclusiones. Para corroborarlo se desarrolla el ejemplo completo mediante las herramientas normativas del procedimiento general para la calificación energética de edificios (Programas Calener\_Vyp).

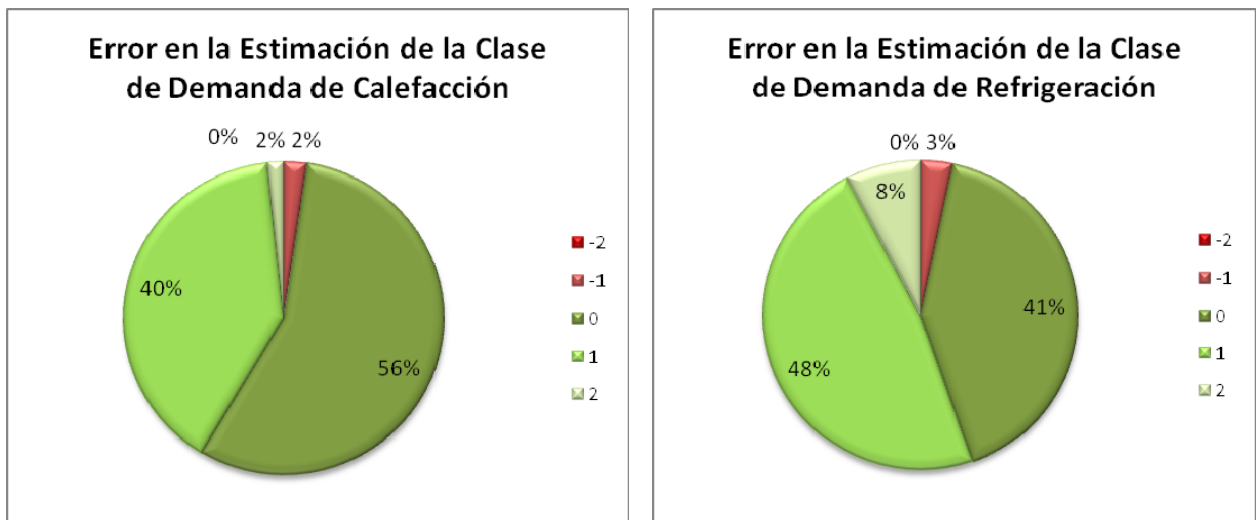
Se desarrolla el caso que tiene el sobrecoste menor, el de 1.51 €/m<sup>2</sup> que suponemos más restrictivo en cuanto a medidas por suponerle las más comunes. El IEE global resultado de este caso es 0,60 mientras que el límite para la Clase B es 0,57 para edificios unifamiliares en zona climática B4.





Como se observa, el edificio finalmente califica como letra B, como se anticipaba según los resultados obtenidos, pero también se puede verificar que el edificio de referencia es Clase C, por lo que queda demostrado que, en el ámbito de soluciones tradicionales, el resultado de la herramienta será similar al del procedimiento simplificado, y por tanto, posee también el mismo ámbito de error en la calificación.

La distribución de la correspondencia entre los resultados que arroja frente a los procedimientos generales es la misma que para el actual procedimiento simplificado de certificación Ce2 y su validación, queda representado en las siguientes figuras:



- El 56% de las veces la clase realmente obtenida coincide con la reivindicada a partir del procedimiento simplificado.
- El 40% de las veces la clase realmente obtenida es una letra mejor que la clase reivindicada a partir del procedimiento simplificado.
- El 2% de las veces la clase realmente obtenida es dos letras mejor que la clase reivindicada a partir del procedimiento simplificado.
- El 2% de las veces la clase realmente obtenida es una letra PEOR que la clase reivindicada a partir del procedimiento simplificado.

Por tanto, se hace conveniente, como queda demostrado en los ejemplos desarrollados y sus resultados, que es interesante filtrar y analizar también los casos cuyos resultados quedan muy próximos al límite de la calificación inmediatamente superior a la obtenida. Es debido a que al ser conservador el cálculo basado en el procedimiento Ce2, cuando se genera la comprobación final en los programas normativos mediante el procedimiento general (programas Calener), de cálculo más exacto y minucioso, con casi total seguridad estarán dentro de la escala de calificación superior.

• Para **TIPOLOGÍA ADOSADA**.

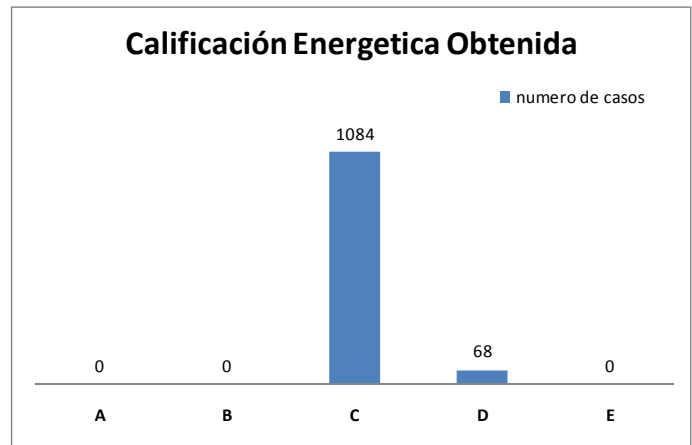
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **letra C**.

**1.084 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **0.00 €/m<sup>2</sup>** y **42.01 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **Promedio 18.28 €/m<sup>2</sup>**.



De forma análoga que para tipología entre medianeras, existen algunos casos cuya IIE global es muy próxima a la **Clase B**.

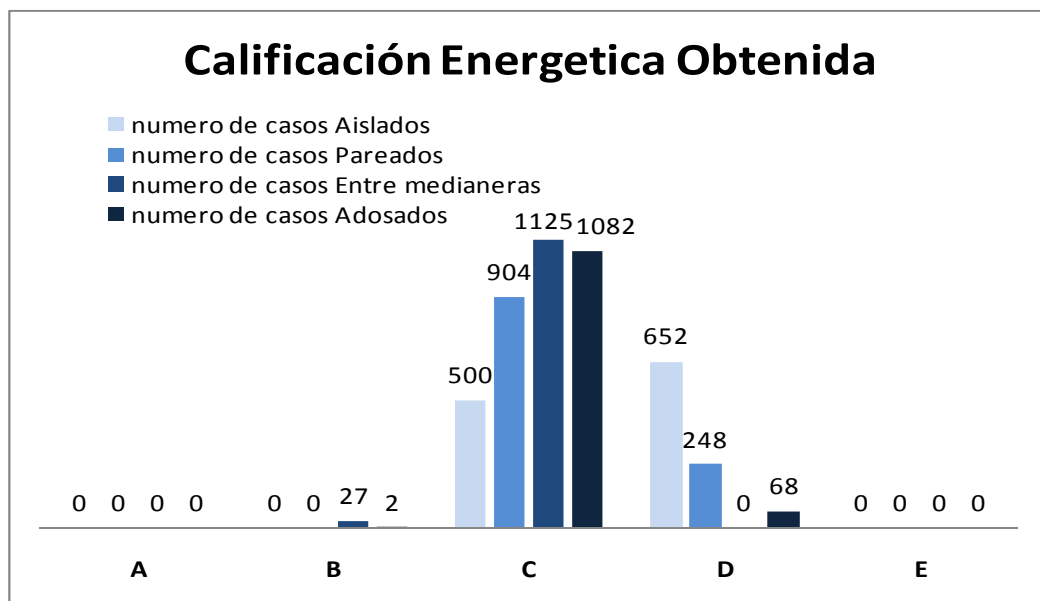
**12 casos** de los 1.084 Clase C.

**Sobrecoste** de actuación entre **5.32 €/m<sup>2</sup>** y **15.42 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 10.81 €/m<sup>2</sup>**.

Son casos cuya IIE global es muy próxima a la Clase B, por lo que si, como en el caso anterior, se desarrolla este caso en el procedimiento general, casi con plena seguridad estará calificado como Clase B, como se detalla en las conclusiones. Como se ha desarrollado el caso anterior para tipología entre medianeras, no se desarrolla en este caso la comprobación mediante herramientas informáticas Calener del procedimiento general.

Si se analizan de forma agrupada todas las tipologías tomando como referencia los casos de evaluación de vivienda aisladas se obtiene la siguiente gráfica:



Donde queda patente que entre estas tipologías, se obtienen mejores resultados de IEE globales para las combinaciones de la tipología entre medianeras.

Del mismo modo se pueden evaluar conceptos de interés para el usuario, como sobrecostes de mejor envuelta y sistemas, asociados a tipologías para obtención de una calificación energética predeterminada, en este caso, para obtener Clase C.

<b>SOBRECOSTE (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>AISLADAS</b>	<b>PAREADAS</b>	<b>ENTRE MEDIANERAS</b>	<b>ADOSADAS</b>
<b>Percentil 15%</b>	14.78	12.35	8.25	9.65
<b>Percentil 85%</b>	41.36	35.93	22.90	26.78
<b>Percentil 50%</b>	27.87	23.69	15.32	18.04

### **ANÁLISIS DE VIVIENDAS EN BLOQUE**

- El caso de análisis de viviendas en bloque está conformado por tres posibles tipologías arquitectónicas (edificio pareado, adosado y adosado de cabecera), colocarlo aislado sería comparar tipologías demasiado diferenciadas por sus áreas de transferencia y porcentajes acristalados para edificios en bloque. Situado en Madrid, zona climática D3. A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, y no poseen sistemas de climatización; el número de combinaciones se reduce a 1.152 casos por tipología.

### **CUADRO DE DATOS DEL EJEMPLO (EDIFICIO PLURIFAMILIAR)**

**Edificio en Bloque con cinco plantas (PB+4)**

**Tipologías: pareado, adosado y adosado de cabecera**

**Superficie de planta: 200 m<sup>2</sup> por planta.**

**Longitud de fachada principal: 19 m.**

**% acristalado 30 / 30 / 18 / 0 (N / S / E / O)**

**Orientación fachada principal: Sur**

**Sobras remotas 25% / 0 / 0 (S / E / O)**

**Sin sistemas de climatización**

Se analizan los resultados obtenidos de alta calificación energética por tipologías:

- Para **TIPOLOGÍA PAREADO**.

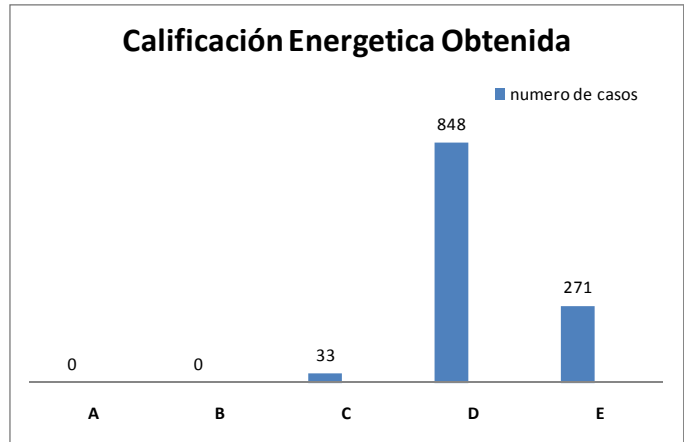
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **letra C**.

**33 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **72.66 €/m<sup>2</sup>** y **97.66 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 85.79 €/m<sup>2</sup>**.



- Para **TIPOLOGÍA ADOSADO**.

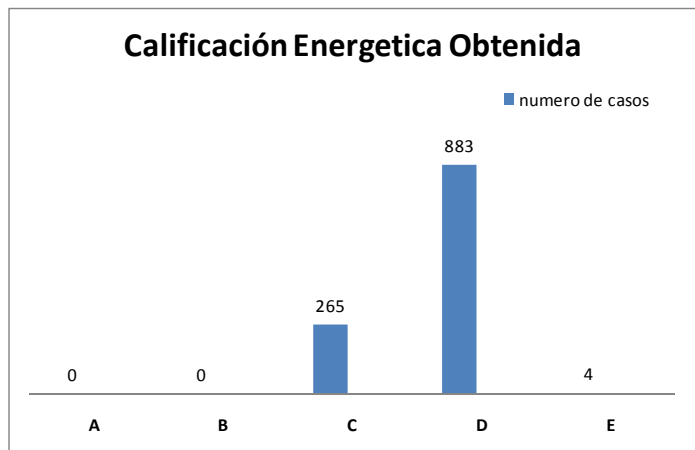
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **letra C**.

**265 casos** de 1.152.

**Sobrecoste** de actuación:

Entre **0.00 €/m<sup>2</sup>** y **73.73 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 32.37 €/m<sup>2</sup>**.



- Para **TIPOLOGÍA ADOSADO EN CABECERA**.

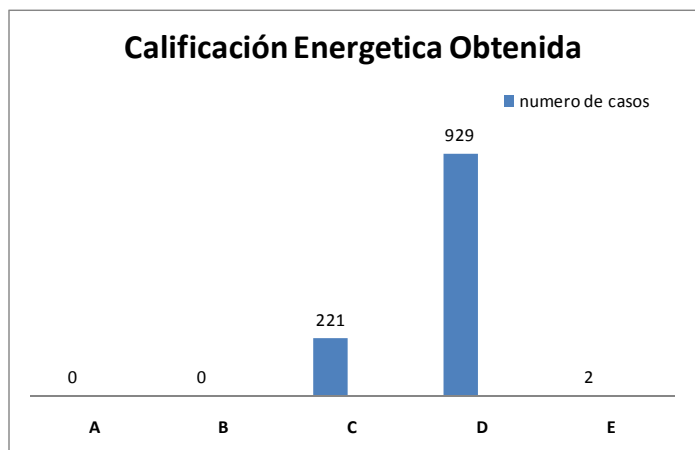
Como queda patente en el gráfico, la mejor calificación energética posible obtenida es **letra C**.

**221 casos** de 1.152.

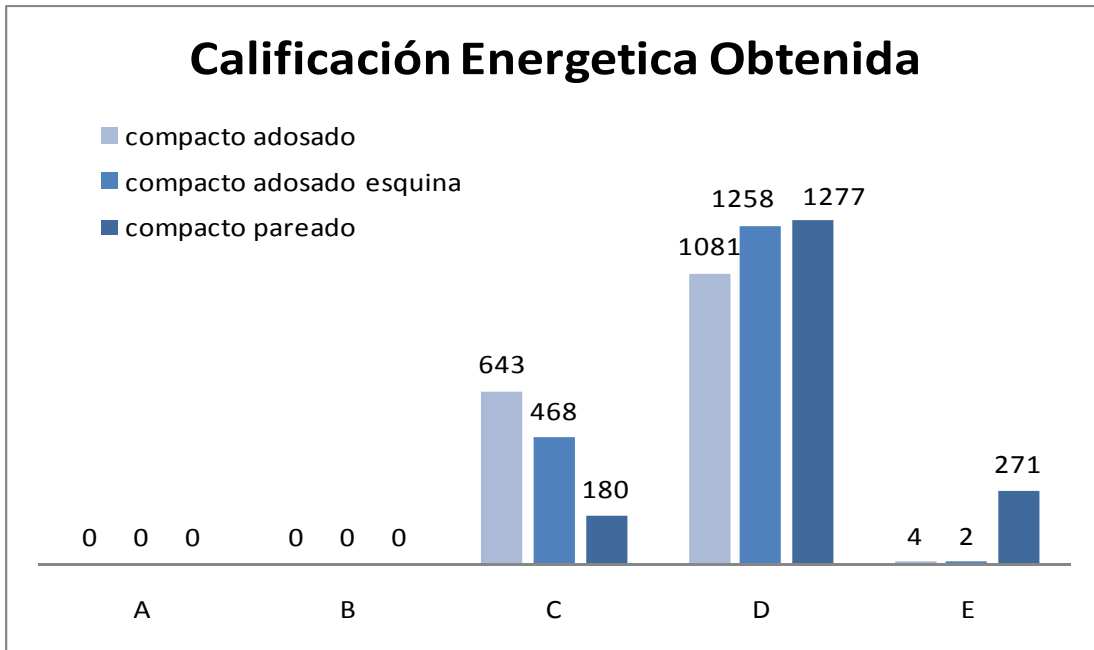
**Sobrecoste** de actuación:

Entre **9.87 €/m<sup>2</sup>** y **93.60 €/m<sup>2</sup>**.

Siendo el **promedio 62.25 €/m<sup>2</sup>**.



Si se analizan de forma agrupada todas las tipologías, tomando como referencia los casos de evaluación de vivienda aisladas, se obtiene la siguiente gráfica:



Donde queda patente que entre estas tipologías, se obtienen mejores resultados de IEE globales para las combinaciones de la tipología de edificios compactos adosados.

Como en el caso anterior, existen casos cuya IIE global es muy próxima a la Clase B; si se desarrolla este caso en el procedimiento general, casi con plena seguridad estará calificado como Clase B, como se ha desarrollado para el ejemplo anterior.

Del mismo modo se pueden evaluar conceptos de interés para el usuario, como sobrecostes de mejor envuelta y sistemas, asociados a tipologías para obtención de una calificación energética predeterminada, en este caso, para obtener Clase C.

<b>SOBRECOSTE (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>COMPACTOS ADOSADOS</b>	<b>COMPACTOS ADOSADOS EN ESQUINA</b>	<b>COMPACTOS PAREADOS</b>
<b>Percentil 15%</b>	22.50	21.63	32.14
<b>Percentil 85%</b>	199.57	161.70	273.55
<b>Percentil 50%</b>	51.83	60.79	83.06

**EJEMPLO 2: El caso de optimización de un edificio concreto de tipología determinada, en que se definen sólo las características básicas.**

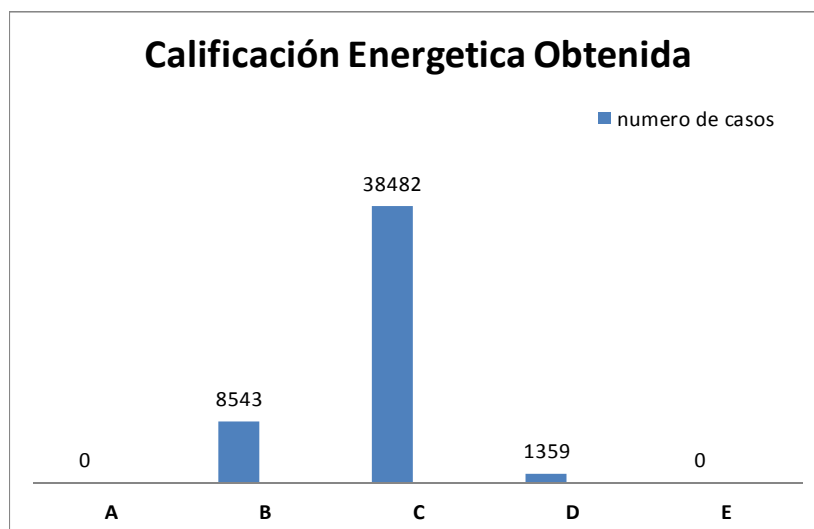
- Como modelo-ejemplo, se utilizan un edificio de viviendas unifamiliar entre medianeras y otro edificio de viviendas en bloque, de características comunes a muchos de los que podemos encontrar construidos en numerosas ciudades españolas. Se tratan de un edificio unifamiliar entre medianeras de dos plantas y situado en Sevilla (B4); el otro edificio tipo, de viviendas en bloque entre medianeras de siete plantas de altura (PB+6), y que se sitúa en Madrid (D3).
- Para todas las combinaciones resultantes por separado se emplea la misma definición geométrica y orientación de la fachada principal, así como las combinaciones posteriores para soluciones constructivas, calidades en los acristalamientos, sistemas de climatización, soluciones de protección solar, cualidades particulares de las soluciones constructivas adoptadas (puentes térmicos, infiltraciones) y mecanismos de ventilación nocturna.
  - Se escriben y calculan 48.384 combinaciones con 155 columnas para cada una, lo que supone un amplio tiempo de cálculo, pero que de forma manual sería inviable.

**ANÁLISIS DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR**

- El caso de análisis de vivienda unifamiliar entre medianeras está situado en Sevilla, zona climática B4. A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, con ocho posibles combinaciones de soluciones constructivas y de sistemas de climatización.

Se agrupan las soluciones de cálculo según la calificación final obtenida para cada localidad en las siguientes tablas:

SEVILLA (B4)



Como el caso que se plantea es genérico, los resultados obtenidos de primera mano son generalistas, aunque éstos ya poseen información de gran peso específico. Por ejemplo:

Queda patente que para esta tipología se obtienen muy buenos resultados globales.

El 79.5% de los casos obtienen una muy buena calificación, Clase C, e incluso el 17.6% llegan a la alta calificación con letra B; sin embargo, sólo el 2.8% obtiene la calificación media, Clase D.

Si se analizan estas soluciones pormenorizadamente se denota que se pueden obtener altas calificaciones con cerramientos especiales, sin sistemas de climatización, etc. Además, se pueden deducir un gran número de datos más concretos mediante el filtrado de los resultados.

De este modo se pueden evaluar conceptos de interés para el usuario como sobrecostes, de mejor envuelta y sistemas, asociados a tipologías para obtención de una calificación energética predeterminada, en este caso, para obtener Clase C o Clase B.

Para obtener Clase C.

<b>SOBRECOSTE (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentil 15%</b>	<b>Percentil 50%</b>	<b>Percentil 85%</b>
<b>ENTRE MEDIANERAS</b>	40.44	77.35	122.60

Para obtener Clase B.

<b>SOBRECOSTE (€/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Percentil 15%</b>	<b>Percentil 50%</b>	<b>Percentil 85%</b>
<b>ENTRE MEDIANERAS</b>	51.34	86.44	126.70

Teniendo en cuenta que no existen casos que lleguen netamente a obtener la Clase B sin sistemas de climatización, aunque como en los ejemplos anteriores, existen algunos casos cuya IIE global es muy próxima a la Clase B, si se desarrollan estos casos mediante el procedimiento general, casi con plena seguridad estará calificado como Clase B, como se ha desarrollado para el ejemplo anterior.

Se debe tener en cuenta que no es la intención de esta tesis mostrar resultados finalistas ni categóricos, sino más bien, manifestar el potencial y las capacidades de los procedimientos que se presentan.

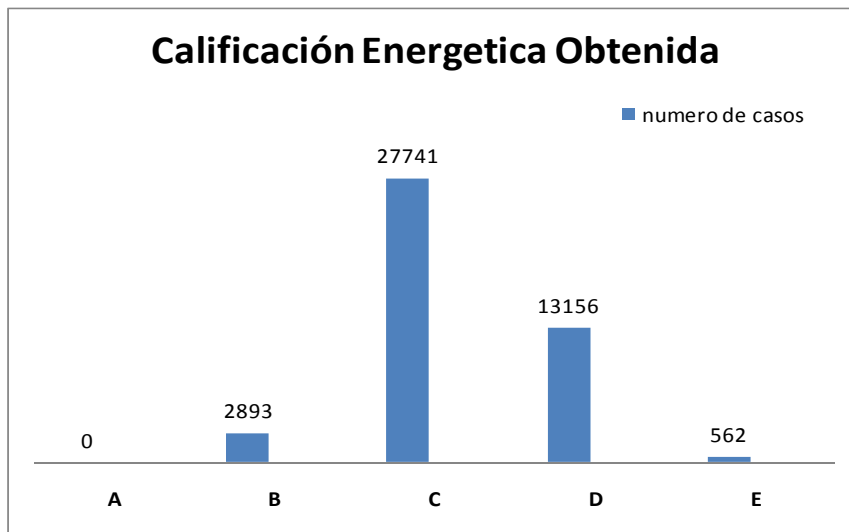


## ANÁLISIS DE VIVIENDAS EN BLOQUE

- Para el caso de análisis de vivienda en bloques de viviendas en hilera, se evalúa con siete plantas (PB+6), de 350m<sup>2</sup> y 240m<sup>2</sup> de planta, y una longitud de fachada de 24m y 12m respectivamente; con fachada principal al Este, y edificios colindantes próximos que le proporcionan sombras remotas del 25% al Sur, 0% al Este y 0% al Oeste.

Se agrupan las soluciones de cálculo según la calificación final obtenida para cada localidad en las siguientes tablas:

### MADRID (D3)



Como el caso que se plantea es genérico, los resultados obtenidos de primera mano son generalistas, aunque éstos ya poseen información de gran peso específico. Por ejemplo:

Como en el ejemplo anterior para viviendas unifamiliares, si se analizan estas soluciones pormenorizadamente se revela que se pueden obtener altas calificaciones con cerramientos especiales, o sin sistemas de climatización, entre otras.

El 57.3% de los casos obtienen una muy buena calificación, Clase C, e incluso el 6% llegan a la alta calificación con letra B; sin embargo, el 27.2% obtiene la calificación media, Clase D, y sólo el 1.2% obtiene la calificación baja, Clase E.

Además, se pueden deducir gran número de datos más concretos mediante el filtrado de los resultados. Así se observa que para los casos en los que se obtiene una calificación Clase C en Madrid, los sobrecostes de las medidas oscilan entre 0.00 €/m<sup>2</sup> y 968.50 €/m<sup>2</sup>, mientras que si se filtran los resultados que obtienen una calificación Clase C sin sistemas, podemos ver que los sobrecostes de las medidas oscilan entre 8.24 €/m<sup>2</sup> y 300 €/m<sup>2</sup> para soluciones de fachadas innovadoras.

Si se filtran los resultados que obtienen una calificación Clase B con sistemas, podemos ver que los sobrecostos de las medidas oscilan entre 141.44 €/m<sup>2</sup> y 1.000 €/m<sup>2</sup>.

Es decir, en este caso concreto, podemos obtener las mismas prestaciones energéticas para un edificio con un ahorro en la ejecución de casi mil euros por cada metro cuadrado del edificio. Esto supone una mejora sustancial en la determinación de las medidas a adoptar para la toma de decisiones de las soluciones constructivas, los sistemas de climatización o el área de ventanas de una fachada del edificio, en una orientación determinada.

Mediante el filtrado de los resultados obtenidos se pueden acotar las soluciones más adecuadas a cada caso concreto, como por ejemplo, evaluar los casos para unas soluciones específicas de sistemas constructivos típicos de una comunidad autónoma, como podrían ser sistemas constructivos con sillar de piedra exterior en las zonas del pirineo catalán.

### **EJEMPLO 3: Obtención de valores límite para la obtención de edificios de alta prestaciones energéticas.**

Por último, se muestra otra capacidad de la herramienta: el cálculo de combinaciones destinadas a la obtención de valores límite para la obtención de edificios de altas prestaciones energéticas.

Para la descripción de este punto, el análisis se centrará en el filtrado de los resultados obtenidos para edificios de viviendas unifamiliares entre medianeras empleados en el ejemplo 2 anterior.

No son recomendaciones ni pautas de diseño, sino advertencias basadas en el conocimiento de las reglas que rigen la certificación energética de edificios y la profundización del uso de los procedimientos presentados.

Por tanto, empleando las aplicaciones derivadas en orden inverso se pueden obtener, mediante filtrados sucesivos de los resultados, valores límite desde los que se asegura la calificación energética final del edificio en cuestión, siempre teniendo en cuenta los márgenes de seguridad que implica el fundamentar el estudio en un procedimiento simplificado, que después se describirá en profundidad.

Estos estudios de valores límites son otro escenario típico intermedio de cálculos de variables, como son, por ejemplo, las viviendas que generalmente no poseen sistemas de climatización (como las de promoción pública), donde el número de combinaciones se reduce en gran medida, en torno a 3.500, lo que supone mucho menos tiempo de cálculo.

## ANÁLISIS DE LA VIVIENDA UNIFAMILIAR ENTRE MEDIANERAS

- El caso de análisis de vivienda unifamiliar entre medianeras está situado en Sevilla, zona climática B4. A parte, se fijan la superficie y el número de plantas, con ocho posibles combinaciones de soluciones constructivas y de sistemas de climatización.

### CUADRO DE DATOS DEL EJEMPLO

**Vivienda unifamiliar entre medianeras**

**Número de plantas: dos y tres plantas**

**Superficie de planta: 90 m<sup>2</sup> por planta.**

**Longitud de fachada principal: 7 m.**

**% acristalado 27 / 27 / 9 / 4 (N / S / E / O)**

**Orientación fachada principal: Sur**

**% Sombras Remotas al Sur: 25%**

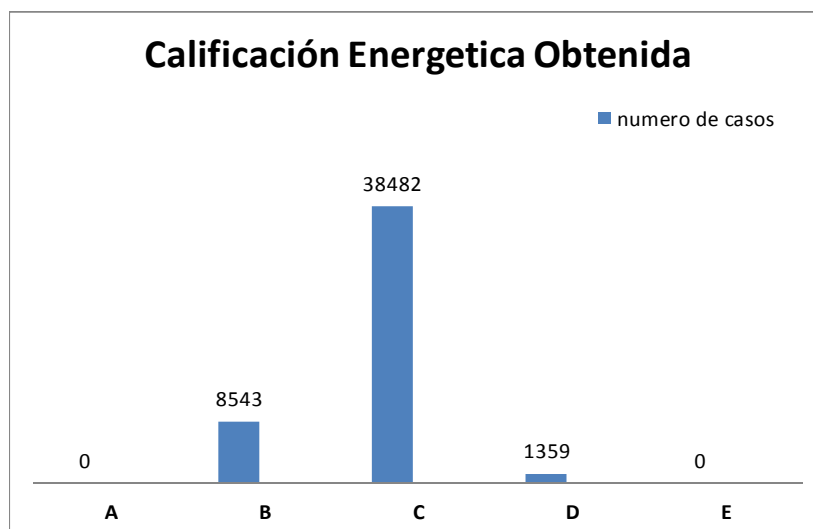
**Porcentaje Sobras propias Sur: 80%/60%/40%/20% (0% Este/Oeste)**

**Sin sistemas de climatización**

Se analizan los resultados obtenidos de alta calificación energética.

Si se agrupan las soluciones de cálculo según la calificación final obtenida para cada localidad se obtiene la siguiente distribución:

SEVILLA (B4)



Como se comentó anteriormente, queda patente que para esta tipología se obtienen muy buenos resultados globales.

Se analizarán ahora pormenorizadamente cuáles son los límites de rangos de valores de los parámetros característicos para los que se cumplen la obtención de altas calificaciones, Clase C o Clase B, sin sistemas de climatización.

Mediante el filtrado de los resultados obtenidos según la clase final obtenida, se pueden acotar los límites de las soluciones; por ejemplo, 8.543 casos obtienen Clase B, y sólo 493 casos de éstos la alcanzan sin sistemas de climatización.

Los valores límite de los rangos para los parámetros generales de esta tipología con las características anteriormente descritas, y que aseguran la obtención de unas prestaciones energéticas determinadas, quedan detallados en el siguiente cuadro:

<b>CUADRO DE VALORES LÍMITES</b>	<b>OPCIÓN 1</b>	<b>OPCIÓN 2</b>
<b>Umuros (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>&lt; 0.30</b>	<b>&lt; 0.16</b>
<b>Ucubiertas (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>&lt; 0.44</b>	<b>&lt; 0.30</b>
<b>Usuelos (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>&lt; 0.50</b>	<b>&lt; 0.48</b>
<b>Uventanas (W/m<sup>2</sup>K)</b>	<b>&lt; 1.50</b>	<b>&lt; 2.40</b>
<b>Ventilación nocturna</b>	<b>&gt; 8 ren/hora</b>	<b>&gt; 8 ren/hora</b>
<b>Puentes térmicos</b>	<b>&lt; 50% CTE</b>	<b>&lt; 50% CTE</b>
<b>Sombras propias</b>	<b>&gt; 20%</b>	<b>&gt; 80%</b>

Se detallan dos rangos de valores concretos: la opción 1, más exigente en las características térmicas de los huecos, aunque menos restrictiva en cuanto a sombras propias; y la opción 2, más exigente en las características térmicas de la envuelta, tanto en cerramientos, como cubiertas y suelos.

Se debe tener en cuenta que no es la intención de esta tesis mostrar resultados finalistas ni categóricos, sino más bien, manifestar el potencial y las capacidades de los procedimientos que se presentan.

## 7. CONCLUSIONES Y POSIBLES DESARROLLOS FUTUROS.

Dado que el interés principal de esta tesis es la generación de procedimientos para la obtención de edificios de altas prestaciones energéticas, se describen a continuación las conclusiones finales obtenidas de lo particular a lo general, esto es, del análisis de los resultados (en primer lugar) al análisis de los procedimientos, pasando por el análisis de la propia herramienta.

Es de interés conocer cuáles son los valores de ciertos parámetros característicos en la obtención de edificios de alta calificación energética, pero se considera que es de mayor interés saber cuál es el potencial de la herramienta para el diseño, y en qué conceptos generales se han basado los cálculos.

En primer lugar, como resumen de las conclusiones a los resultados obtenidos en la herramienta desarrollada, se puede decir que:

- Las soluciones obtenidas muestran que los edificios de alta calificación energética son viables a bajo coste (incluso pudiendo ser llegar a ser de sobrecoste nulo); es decir, generalmente no es necesario llegar a altos niveles de aislamiento o de calidades de ventanas, sino que para la obtención de estos edificios, lo más importante es partir de un buen diseño.
- Existen soluciones de combinaciones que, para un mismo coste, unas ofrecen mejor calificación que otras, por lo que es posible la optimización de las soluciones finales mediante procedimientos de filtrado de los resultados.
- Al estar basada esta herramienta informática en un procedimiento simplificado reconocido de certificación energética, los resultados obtenidos para soluciones convencionales siempre están del lado de la seguridad, ya que el procedimiento simplificado de referencia es conservador desde el origen respecto a los procedimientos generales.
- Según el punto anterior y basándonos en los resultados vistos anteriormente, es absolutamente necesario el filtrado de los resultados que quedan próximos a los límites de cambio de escala de calificación energética, ya que al estar basado en un procedimiento simplificado, conservador, la herramienta desarrollada arroja resultados similares al del procedimiento simplificado, y por tanto, posee también el mismo rango de error en la calificación.
- Los resultados obtenidos para soluciones convencionales al certificar mediante procedimientos generales normativos (programa Calener\_Vyp, en este caso), obtienen la misma calificación final que la prevista por la herramienta desarrollada, como se ha demostrado.

- Para los casos donde se introduzcan nuevas soluciones técnicas no recogidos por los procedimientos generales de calificación energética, la correspondencia con la calificación energética final será meramente de referencia, ya que no se pueden comprobar ni ratificar directamente en los programas normativos hasta que estas medidas no estén contempladas en ellos mediante documentos reconocidos como “capacidades adicionales”.

Por ejemplo, son capacidades adicionales las soluciones particulares tales como sistemas constructivos mediante fachadas ventiladas y muros trombe, o bien, ejemplos de sistemas de climatización innovadores como calderas geotérmicas.

- Existe la posibilidad de ampliación tanto de los parámetros de diseño base, así como para soluciones técnicas particulares de sistemas constructivos, protecciones solares o sistemas de climatización, tales como porcentajes acristalados, dimensiones de planta, fachadas principales, etc.
- Es una herramienta de preevaluación tanto energético como de rentabilidad de las soluciones, ya que se pueden obtener los costes de ciclo de vida y el sobrecoste asociado de cada una de las soluciones. El coste de cada una de las partidas es independiente, por lo que tanto las soluciones como sus costes asociados pueden ampliarse desde el inicio de las evaluaciones.
- Es factible el uso de la herramienta para el análisis de idoneidad de tipologías para una parcela concreta, donde se pueden fijar los condicionantes del entorno, y evaluar diferentes posibilidades (1.152 combinaciones de edificios posibles para una sola tipología sin sistemas de climatización, 8.064 combinaciones de edificios posibles para una sola tipología con sistemas de climatización) en un corto intervalo de tiempo.

Esto la hace válida, por un lado, como herramienta de prediseño y apoyo a la toma de decisiones tanto para fases previas de organización urbanística y parcelación, como para el diseño de edificios de altas prestaciones energéticas en fases de anteproyecto o de proyecto básico, y por otro, para posteriores procesos de optimización energética en cualquier etapa del proyecto de ejecución.

En segundo lugar, como resumen general del análisis y la investigación mediante la herramienta informática desarrollada de nuevos procedimientos para la obtención de edificios de alta calificación energética y su optimización económica (descrita anteriormente en el Capítulo 6), se puede concluir que:

- Se trata de una herramienta de preevaluación no normativa, por lo que no es válida para la certificación final del edificio ni en fase de proyecto ni como edificio terminado. Es una herramienta de apoyo al diseño en la toma de decisiones.
- Al ser un mecanismo basado en el procedimiento simplificado de certificación energética de edificios de viviendas Ce2, debe destacarse que las condiciones de operación son muy restrictivas, por lo que los resultados obtenidos están del lado de la seguridad. Así que se puede afirmar que una vez definido el proyecto final del edificio y calificado energéticamente en cualquiera de los procedimientos reconocidos, se asegura que la etiqueta energética final obtenida será, al menos, la misma.
- Se hace conveniente, como queda demostrado en los ejemplos desarrollados y sus resultados, filtrar y analizar los casos cuyos resultados quedan muy próximos al límite de la calificación inmediatamente superior a la obtenida. Dado que el cálculo es conservador, al generar la comprobación final en los programas normativos Calener, de cálculo más exacto y minucioso, con casi total seguridad estarán dentro de la escala de calificación inmediatamente superior.
- Posee múltiples entradas de la información, facilitando al usuario el poder ir centrando el edificio de estudio sobre una combinatoria de mayor o menor entidad, en función de los parámetros independientes que éste vaya fijando: tipología final del edificio, superficie de la planta, número de plantas, si posee o no sistemas de climatización, sombras remotas que posee la parcela, etc., o bien, decisiones de mayor peso, como es el determinar qué tipo de soluciones constructivas se van a emplear.
- De igual manera, posee múltiples salidas para los resultados obtenidos, ya que el proyectista se puede ir aproximando a las soluciones más interesantes mediante filtrados sucesivos de los valores resultantes por cada una de las columnas de la herramienta, como por ejemplo: soluciones tipológicas, constructivas, de sistemas de climatización aplicados, de calificación final obtenida, o según el coste del ciclo de vida asociado, del que podemos extraer, a su vez, los posibles rangos de sobrecostes.
- Por otro lado, no se puede pasar por alto que actualmente no existe aún la posibilidad de incluir soluciones especiales, como las de ventilación nocturna o fachadas especiales, en los actuales procedimientos de calificación energética. Esto se debe a que todavía no se han presentado

aún los documentos reconocidos de estas capacidades especiales, y por tanto, no se ha aceptado la inclusión de éstas en el procedimiento general (programas Calener).

Sin embargo, sí existen los estudios de investigación particulares necesarios, por lo que ya se conocen los posibles mecanismos de inserción en los mismos, como queda patente en esta tesis.

- Es una herramienta de preevaluación muy potente, ya que, relativamente en muy poco tiempo, se pueden obtener claras conclusiones para la toma de decisiones definitivas de diseño, sistemas de construcción y/o tipos de climatización óptimos para cada caso.
- Asimismo, los valores adoptados para cada una de las variables pueden ser ampliados o modificados siempre que se desee, lo que queda especificado en cada uno de los apartados del anterior punto 6.2, teniendo en cuenta que la ampliación supone un incremento factorial de las combinaciones resultantes y, por tanto, del tiempo de cálculo necesario.
- Es necesario remarcar que no se incluyen edificios terciarios en este estudio dado que no son tipificables y por tanto, no se pueden determinar las características básicas que los definen geométrica ni constructivamente. Además, los tipos de sistemas de climatización que albergan estos edificios son muy amplios y complejos, por lo que dificultan los cálculos.

Además, para el cálculo de la energética de los edificios terciarios, sea cual sea su magnitud, se desarrolla de forma autorreferente, es decir, se comparan contra sí mismos en condiciones de cumplimiento específico del Código Técnico de la Edificación, por lo que no existen demandas de referencia para estos tipos de edificios. Por ello, sería necesario un doble cálculo informático, ya que, al no conocer las demandas de calefacción, refrigeración ni agua caliente sanitaria, tampoco conocemos la distribución de éstas en la energética del edificio, esto es, sus coeficientes de reparto.

En consecuencia, no se conocen a priori las pautas para la mejora potencial de ahorro energético de los edificios terciarios.

- Si importantes pueden ser los edificios de nueva planta y sus condicionantes sobre el desarrollo futuro de la edificación en España, aún más lo es el parque edificatorio existente. Nuestras actuales ciudades y pueblos superan exponencialmente al de futuro desarrollo a pocos años vista, por lo que pensar en la energética de éstos y su rehabilitación son claras líneas próximas de actuación.

Esta herramienta puede ser ampliada, en líneas futuras de investigación, en la optimización de toma de decisiones para la rehabilitación energética de edificios existentes, de cercano obligatorio cumplimiento. Sería tanto para



el análisis de mejora energética del edificio de forma global, como para ver la influencia de una medida de mejora sobre la envuelta térmica del edificio, los mecanismos de ventilación, sus infiltraciones o para sus sistemas de climatización.

- Como otras líneas futuras de investigación, cabe mencionar la posible ampliación del actual requerimiento sobre el análisis de iluminación natural en el marco del Código Técnico en su sección HE\_3 (Cumplimiento de Eficiencia Energética de los Sistemas de Iluminación). Esto gira en torno a la inclusión de nuevas técnicas y procedimientos de evaluación que determinen la influencia de la iluminación natural en la energética edificatoria, así como la necesidad de procedimientos de diseño de adecuadas protecciones solares.

En consonancia con este punto, se propone como base el desarrollo y ampliación del trabajo realizado para la obtención del Diploma de Estudios Avanzados (DEA) del doctorando, sobre la generación de un procedimiento de diseño y composición de protecciones solares para la mejora de la respuesta térmica en el interior de los edificios debidos a la radiación solar directa. Éste evalúa las respuestas térmicas y lumínicas que los distintos tipos de protecciones solares generan en una habitación tipo, y que queda descrito en el Anexo VII del presente documento.

- Por último, es importante resaltar que esta herramienta también puede emplearse como programa para el testeo de investigaciones parciales en la inclusión de ciertas medidas innovadoras en los procedimientos de calificación, como se ha desarrollado en esta tesis con el estudio pormenorizado de la influencia de la ventilación nocturna en la demanda de refrigeración de los edificios de vivienda, entre otras.

Para finalizar, y como resumen del periodo de análisis y la investigación de nuevos procedimientos para la obtención de edificios de alta calificación energética, y su optimización económica (los procedimientos descritos anteriormente en el Capítulo 5), se puede concluir que:

- Por primera vez se ha generado un procedimiento visible en el que se hacen mensurables las medidas de mejora e implementación en la energética edificatoria, es decir, la influencia en la demanda de cada elemento particular: el nivel de aislamiento de los cerramientos, la influencia del puente térmico, la ventilación interior o la calidad de los huecos y el tipo de sombreado que posee.
- Los mecanismos de mejora mediante el álgebra simple de los indicadores antes analizados y descritos, crean un instrumento directo de visualización y preevaluación de medidas, tanto de mejora de demandas como de los sistemas de climatización.
- En la medida en que el arquitecto conozca las estrategias de mejora, las técnicas de evaluación y lo que suponen las medidas adoptadas en la toma de decisiones, tendrá un marco mayor de actuación, más rápido y, lo que puede ser más importante, el más económico.
- A nuestro juicio, es más interesante la mejora y optimización de la demanda del edificio y, después, analizar las posibles soluciones de los sistemas de climatización y generación de agua caliente sanitaria para lograr, de la forma más económica, la mayor calificación posible y, si no es posible obtener la deseada, saber cuál es la más rentable.
- Sin embargo, como también ha quedado expuesto, es un procedimiento costoso para generar un solo caso (necesidad de generar las tablas, hacer las combinatorias de cada elemento, buscar las soluciones y después deshacer el procedimiento en busca de obtención de los parámetros característicos del proyecto...). Éste es un proceso tedioso como para tener que realizarlo a mano en busca de respuestas rápidas, pudiendo incluso contar con la posibilidad de que no exista la opción de generar un edificio con una calificación determinada en una zona climática concreta.

Calcular un mismo caso con varias soluciones de fachadas, cubiertas, suelos, ventanas y protecciones solares de huecos, más varios posibles sistemas de climatización, hacen inviable el cálculo manual del estudio de un edificio.

Por tanto, para explorar esas soluciones de una forma rápida se ha creado la herramienta informática descrita, con la que podemos permitirnos mucho más alcance aún, como ha quedado demostrado en los puntos anteriores.

## 8. RANGOS DE VALORES UTILIZADOS PARA EL ESTUDIO.

### POSICIONES EN LA PARCELA Y TIPOLOGÍAS ASOCIADAS

#### POSICIÓN DE PATIOS

Se han determinado las dimensiones y posiciones más comunes de patios con los que se desarrollan las combinaciones anteriormente descritas.

En el caso de viviendas unifamiliares, se ha determinado, en principio, que no tengan patio derivado del estudio pormenorizado de tipologías edificatorias, documentadas en el Anexo I de este documento; sin embargo, se han programado los parámetros para que, si el usuario decide centrar más los cálculos y conoce las dimensiones estimadas del proyecto resultante, se calculen las variables con la influencia de éstos.

En bloques, se ha determinado que sea posible el diseño de cinco tipos de patio: centrado, en fachadas principales, en cabeceras, en esquinas y, por supuesto, la opción de que no tenga patio.

Las dimensiones establecidas para cada tipo de patio quedan expuestas en la siguiente tabla:






POSICIÓN	TIPO	POSICIÓN	TIPO
Sin patio (tipo 0)		Centrado (tipo 1)	
A fachadas principales (tipo 2)		A cabeceras (tipo 3)	
En esquinas (tipo 4)			

Tabla 6 Posición de Patios

## NÚMERO DE PLANTAS Y RANGOS DE ESTUDIO

Para las viviendas tanto unifamiliares como en bloque, se han determinado los límites de rangos de número de plantas con los que se desarrollan las combinaciones derivadas del estudio pormenorizado de tipologías edificatorias, reflejadas en el Anexo I de este documento.

### UNIFAMILIARES

En el caso de viviendas unifamiliares, se ha determinado que sea posible el diseño de una a cuatro plantas.

Existen ciertas indeterminaciones sobre si una vivienda de tres o cuatro plantas es unifamiliar o bloque; en este caso, dado que se analiza el núcleo familiar, si es uno sólo será unifamiliar, aun pudiendo llegar a cuatro plantas. Sin embargo, si existe más de un núcleo familiar, se considerará vivienda en bloque.

### BLOQUES

Para bloques, se ha desarrollado un análisis particular con el que observar la influencia del número de plantas en la energética global del edificio y, más particularmente, sobre la demanda de calefacción de los mismos.

Si se estudia la demanda de calefacción obtenida para el mismo modelo de distribución en planta de un edificio, y variamos el número de plantas total de éste, podemos observar la distribución de la demanda de calefacción, en función del número de plantas final, como vemos en la siguiente figura.

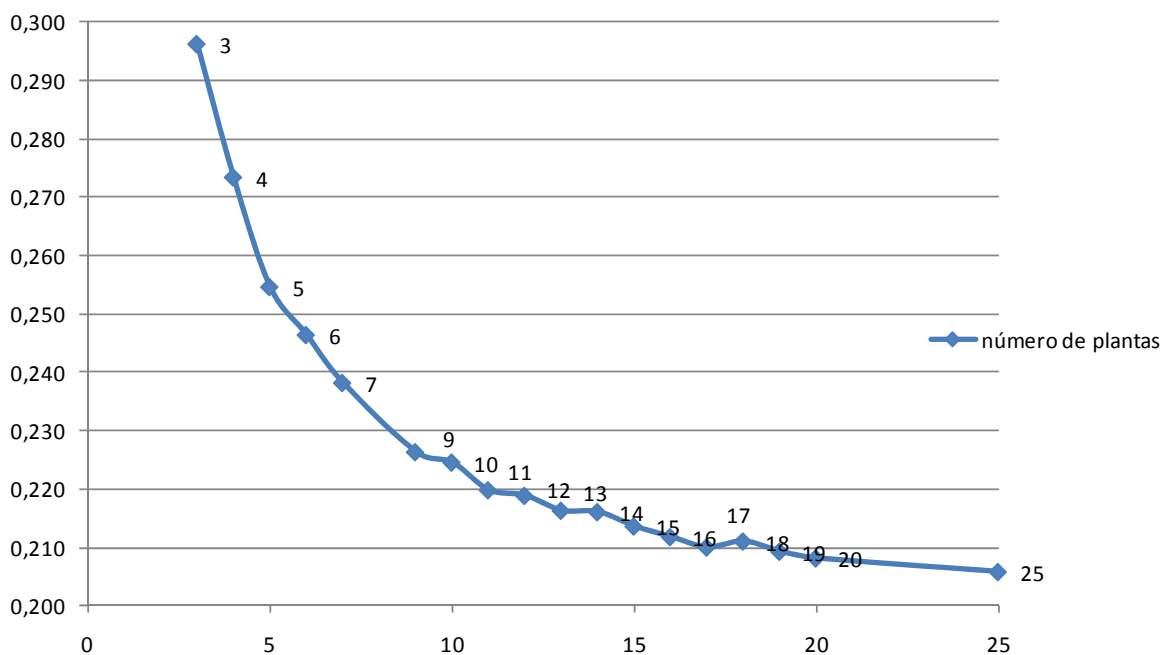


Figura 11: Influencia del número de plantas por demanda de calefacción.

Si se examinan en profundidad las tablas de demanda de calefacción del procedimiento simplificado de base para esta tesis (ver tabla siguiente), se puede observar cómo los escalones son de centésimas (0,01), de ahí que el eje vertical de la gráfica anterior de demanda de calefacción también se tome en centésimas.

Compacidad $V/A_T^{-1}$	$U_{opaco}^2$								
	0,25	0,30	0,35	0,40	0,45	0,50	0,55	0,60	0,65
1,5	0,32	0,39	0,45	0,52	0,58	0,65	0,71	0,78	0,84
1,6	0,30	0,36	0,43	0,49	0,55	0,61	0,67	0,73	0,79
1,7	0,29	0,34	0,40	0,46	0,52	0,57	0,63	0,69	0,74
1,8	0,27	0,32	0,38	0,43	0,49	0,54	0,59	0,65	0,70
1,9	0,26	0,31	0,36	0,41	0,46	0,51	0,56	0,61	0,67
2,0	0,24	0,29	0,34	0,39	0,44	0,49	0,54	0,58	0,63
2,1	0,23	0,28	0,32	0,37	0,42	0,46	0,51	0,56	0,60
2,2	0,22	0,27	0,31	0,35	0,40	0,44	0,49	0,53	0,58
2,3	0,21	0,25	0,30	0,34	0,38	0,42	0,47	0,51	0,55
2,4	0,20	0,24	0,28	0,32	0,36	0,41	0,45	0,49	0,53
2,5	0,19	0,23	0,27	0,31	0,35	0,39	0,43	0,47	0,51
2,6	0,19	0,22	0,26	0,30	0,34	0,37	0,41	0,45	0,49
2,7	0,18	0,22	0,25	0,29	0,32	0,36	0,40	0,43	0,47
2,8	0,17	0,21	0,24	0,28	0,31	0,35	0,38	0,42	0,45
2,9	0,17	0,20	0,23	0,27	0,30	0,34	0,37	0,40	0,44
3,0	0,16	0,19	0,23	0,26	0,29	0,32	0,36	0,39	0,42
3,1	0,16	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,35	0,38	0,41
3,2	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,30	0,33	0,36	0,40
3,3	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27	0,29	0,32	0,35	0,38
3,4	0,14	0,17	0,20	0,23	0,26	0,29	0,31	0,34	0,37
3,5	0,14	0,17	0,19	0,22	0,25	0,28	0,31	0,33	0,36

Tabla 7 Determinación del IEEopaco en la Demanda de Calefacción


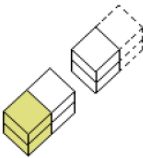
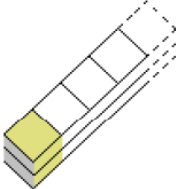
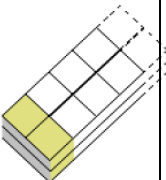
Según la gráfica anterior (figura 11), queda expuesto que para cierto rango de número de plantas del edificio, la variación sobre la demanda es inferior a una centésima y, por tanto, no es representativa, ya que no supone una modificación de los resultados finales. Lo vemos, por ejemplo, para 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18 y 19 plantas.


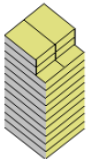

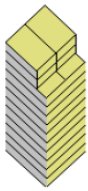
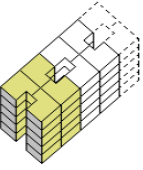
Así, finalmente se toma la determinación de que para todos los números de plantas posibles se obtienen los puntos de representación centrales y quedan agrupados de la siguiente manera: 3, 4, 5, 7, 8 y 14.

En todos los casos el número de variables puede ser ampliado o modificado, sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo.

### ÁREAS DE PLANTAS Y PATIOS PARA EDIFICIOS NOCIONALES DE ESTUDIO

Se han determinado las dimensiones más comunes de plantas y patios con los que se desarrollan las combinaciones posteriores. Para ello, se establecen los límites de rangos de superficies de plantas y patios con los que se desarrollan las combinaciones derivadas del estudio pormenorizado de tipologías edificatorias, reflejadas en el Anexo I de este documento, aunque se han programado los parámetros para que, si el usuario decide centrar más los cálculos y fija un valor diferente a incluir en el proyecto resultante, se calculen las variables con la influencia de éstos.

PLANTAS	TIPO	DIMENSIÓN PRINCIPAL	SUPERFICIE
Unifamiliar aislada		5m 6m 7m 10m	50m ó 60m ó 70m 45m ó 50m ó 60m ó 120m 60m ó 70m ó 75m ó 90m ó 150m ó 180m ó 250m 150m
Unifamiliar pareada		6m 7m 9m	45m ó 50m ó 60m ó 120m 60m ó 70m ó 75m ó 90m ó 150m ó 180m ó 250m 75m
Unifamiliar en hilera		6m 7m 9m	45m ó 50m ó 60m ó 120m 60m ó 70m ó 75m ó 90m ó 150m ó 180m ó 250m 75m
Unifamiliar adosada		5m 6m 7m	50m ó 60m ó 70m 45m ó 50m ó 60m ó 120m 60m ó 70m ó 75m ó 90m ó 150m ó 180m ó 250m

PLANTAS	TIPO	DIMENSIÓN PRINCIPAL	SUPERFICIE
Bloque Aislado		19m 24m 26m 29m 36m	220m 350m 350m ó 376m ó 484m 580m 864m
Bloque Pareado		19m 24m 29m	220m 350m 580m
Bloque en Hilera		12m 17m 19m 20m 22m 24m 26m 29m	270m ó 240m 133m 220m 336m 240m 350m 350m ó 376m ó 484m 580m
Bloque Adosado		19m 24m 29m	220m 350m 580m
Bloque Adosado en Esquina		19m 24m 29m	220m 350m 580m






PATIOS	TIPO	DIMENSIÓN PRINCIPAL	SUPERFICIE
Sin patio (tipo 0)		---	---
Centrado (tipo 1)		3m 6m 8m	9m 30m 80m
A fachadas principales (tipo 2)		6m 7m 8m 9m 12m	36m 28m 24m 45m 72m
A cabeceras (tipo 3)		3m 6m 8m	9m 30m 80m
En esquinas (tipo 4)		3m 6m 12m	9m 36m 36m

Tabla 8 Área y Posición de Patios

En todos los casos anteriores, el número de variables puede ser ampliado o modificado sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo.

### PORCENTAJE DE HUECOS EN FACHADAS Y PATIOS

Se han determinado las dimensiones y posiciones más comunes de huecos en fachadas y patios con los que se desarrollan las combinaciones posteriores.


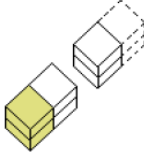
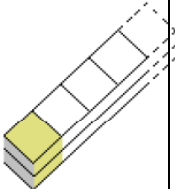
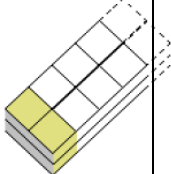
Como se ha comentado anteriormente, en el caso de viviendas unifamiliares se ha determinado, en principio, que no tengan patio derivado del estudio pormenorizado de tipologías edificatorias plasmadas en el Anexo I de este


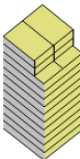
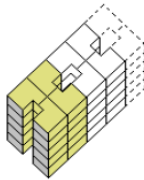
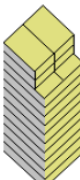
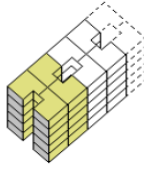


documento, por lo que no se generan combinaciones de porcentajes de huecos por fachadas; sin embargo, como para el resto de las variables, se han programado los parámetros para que, si el usuario decide centrar más los cálculos y conoce las dimensiones estimadas del proyecto resultante, se calculen las variables con la influencia de éstos.

Por otro lado, en bloques se ha determinado que sea posible el diseño de cinco tipos de patio: que no haya, que esté centrado, en fachadas principales, en cabeceras y en esquinas y, por tanto, se estudian también las posibles distribuciones de huecos en patios de bloque.

La orientación también es una variable más, por lo que no se fijan los porcentajes a las orientaciones respectivas. La distribución establecida para cada tipo de edificio y patio quedan expuestas en las siguientes tablas:

PLANTAS	TIPO	HUECOS EN FACHADAS			
		Fach.1%	Fach.2%	Fach.3%	Fach.4%
Unifamiliar aislada		27%	27%	9%	4%
		27%	27%	20%	20%
		30%	26%	30%	36,5%
Unifamiliar pareada		20%	20%	21%	0
		30%	30%	18%	0
Unifamiliar en hilera		19%	19%	0	0
		38%	23%	0	0
		20%	15%	0	0
		20%	8%	0	0
Unifamiliar adosada		38%	0	0	0
		23%	0	0	0
		19%	0	0	0

PLANTAS	TIPO	HUECOS EN FACHADAS			
		Fach.1%	Fach.2%	Fach.3%	Fach.4%
Bloque Aislado		27%	27%	9%	4%
		27%	27%	20%	20%
		30%	26%	30%	36,5%
Bloque Pareado		20%	20%	21%	0
		30%	30%	18%	0
Bloque en Hilera		19%	19%	0	0
		38%	23%	0	0
		20%	15%	0	0
		20%	8%	0	0
Bloque Adosado		38%	0	0	0
		23%	0	0	0
		19%	0	0	0
Bloque Adosado en Esquina		38%	0	0	0
		23%	0	0	0
		19%	0	0	0


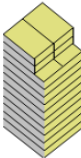

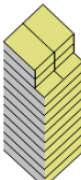
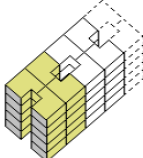
PLANTAS	TIPO	HUECOS EN PATIOS			
		Fach.1%	Fach.2%	Fach.3%	Fach.4%
Bloque Aislado		0%	0%	0%	0%
		22%	22%	22%	22%
Bloque Pareado		0%	0%	0%	0%
		22%	22%	22%	22%
Bloque en Hilera		0%	0%	0%	0%
		7%	4%	7%	4%
Bloque Adosado		0%	0%	0%	0%
		22%	22%	22%	22%
Bloque Adosado en Esquina		0%	0%	0%	0%
		22%	22%	22%	22%

Tabla 9 y Tabla 10 Tablas de Porcentajes de Huecos en Fachadas Principales y de Patios

En todos los casos, el número de variables puede ser ampliado sin más consecuencias que el consiguiente aumento de las variables de la combinatoria, y el tiempo de resolución y cálculo.

## PROTECCIONES SOLARES Y SOMBRAS REMOTAS

Las ganancias solares son analizadas tanto en la evaluación de la demanda de calefacción como en la de refrigeración.

El procedimiento reconocido en su opción general, al ser mediante un cálculo horario, puede sin problemas evaluar los escenarios de sombras diarios que generan tanto las propias como los edificios colindantes y demás obstáculos remotos. El procedimiento simplificado base para esta tesis tiene en cuenta las sombras propias y las remotas, generadas por obstáculos ajenos al edificio, vegetación o la edificación colindante en entornos urbanos.

Esta herramienta propone una sola configuración de sombras remotas, ya que se entiende que el perfil colindante no varía con el tiempo, mientras que para las sombras propias se generan cuatro variables, dado que los elementos de sombra pueden ser instalados previamente, durante el diseño y la construcción del edificio, o bien posteriormente por parte de los usuarios.

Como valores para los factores de sombras propias, se proponen los siguientes:

<b>Porcentaje de radiación directa bloqueada</b>	<b>Corrector por elementos sombra propia</b>	<b>Medida de control solar</b>
Se bloquea el 20% de la radiación incidente	0,8	Retranqueo de la hoja vidriada.
Se bloquea el 40% de la radiación incidente	0,6	Voladizos fijos, lamas...
Se bloquea el 60% de la radiación incidente	0,4	Persianas, lamas...
Se bloquea el 80% de la radiación incidente	0,2	Toldos, lamas...

Las sombras de elementos remotos se evalúan en las tres direcciones principales captoras: orientación Este, Sur y Oeste.

Para el análisis en régimen de calefacción, se analiza la obstrucción de los huecos que reciben radiación solar directa en estas orientaciones, sin la intervención de las sombras propias (planteadas como medida de intervención pasiva para el verano). Asimismo, en régimen de refrigeración se analiza el porcentaje de huecos protegidos que no reciben radiación solar directa gracias a, por un lado, la intervención de las sombras remotas, por la configuración y ubicación de edificios del entorno, y por otro, a la intervención de las propias protecciones solares incluidas para cada hueco, bien sean retranqueos, voladizos, toldos, lamas o cualquier otro dispositivo de sombra exterior.

Como para los parámetros anteriores, en todos los casos el número de variables puede ser ampliado o modificado sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo.

## SOLUCIONES CONSTRUCTIVAS ADOPTADAS

### Cerramientos opacos

Para el análisis de las soluciones constructivas se plantean una serie de combinaciones fijas de transmitancias térmicas de fachadas, cubiertas y suelos que reducen el número posible de variables y que contemplan la mayoría de las soluciones adoptadas en la construcción hoy en día.

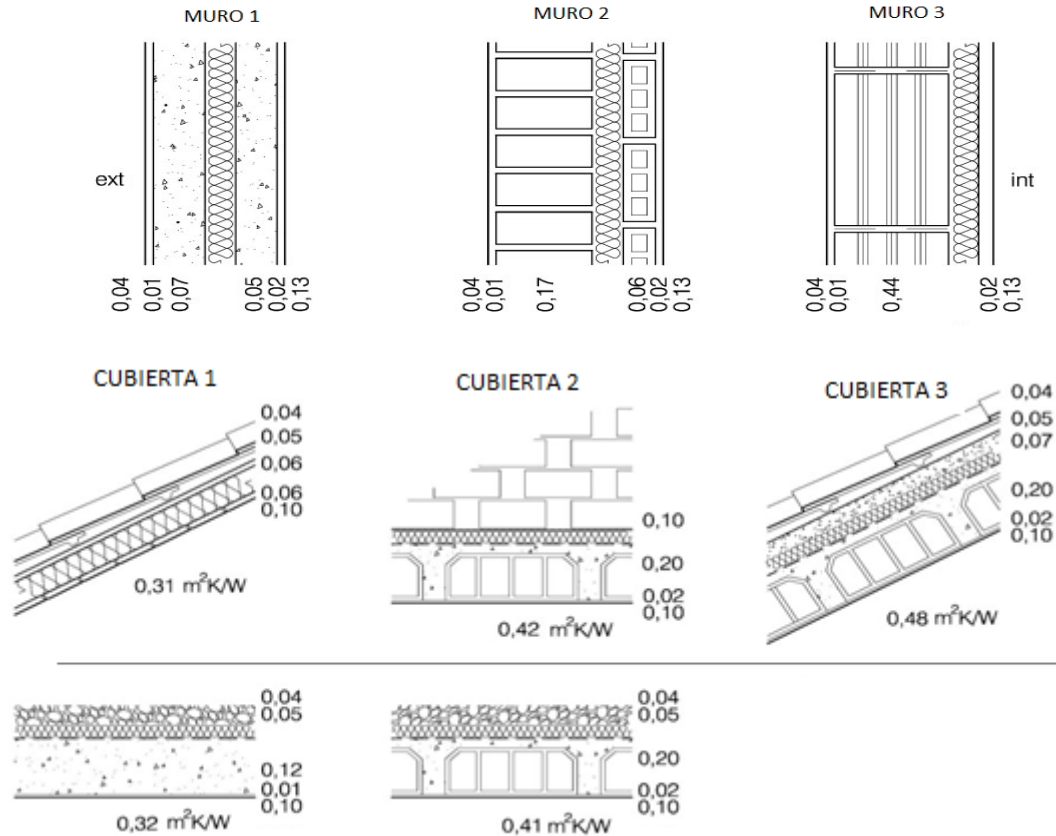
Para soluciones de fachada se ha tomado la transmitancia más alta de todas las bases de las zonas climáticas; en concreto es la de la zona A3, de transmitancia 0,94 W/m<sup>2</sup>K, la menor viable 0,30 W/m<sup>2</sup>K para espesores máximos asequibles en proyecto y una media entre estos dos valores, 0,68 W/m<sup>2</sup>K.

En la tabla a continuación se muestran los espesores necesarios para obtener ciertas transmitancias térmicas de los cerramientos con soluciones comunes:

Espesores de Aislamiento (m.)		U(w/m2K)									
Muro1	0,32	0,2	0,25	0,3	0,35	0,4	0,45	0,6	0,65	0,9	0,95
Aislante 1: MW	0,05	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,07	0,06	0,04	0,04
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03
Aislante 3: PUR	0,028	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
Muro2	0,43										
Aislante 1: MW	0,05	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,06	0,06	0,03	0,03
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02
Aislante 3: PUR	0,028	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
Termoarcilla 19	1,14										
Aislante 1: MW	0,05	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07	0,05	0,03	0,02	0,00	0,00
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,15	0,11	0,09	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02	0,00	0,00
Aislante 3: PUR	0,028	0,11	0,08	0,06	0,05	0,04	0,03	0,01	0,01	0,00	0,00
Cubierta 1	0,31										
Aislante 1: MW	0,05	0,23	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10	0,07	0,06	0,04	0,04
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,07	0,05	0,05	0,03	0,03
Aislante 3: PUR	0,028	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,04	0,03	0,02	0,02
Cubierta 2	0,42										
Aislante 1: MW	0,05	0,23	0,18	0,15	0,12	0,10	0,09	0,06	0,06	0,03	0,03
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,18	0,14	0,11	0,10	0,08	0,07	0,05	0,04	0,03	0,02
Aislante 3: PUR	0,028	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
Cubierta 3	0,48										
Aislante 1: MW	0,05	0,23	0,18	0,14	0,12	0,10	0,09	0,06	0,05	0,03	0,03
Aislante 2: EPS/XPS	0,039	0,18	0,14	0,11	0,09	0,08	0,07	0,05	0,04	0,02	0,02
Aislante 3: PUR	0,028	0,13	0,10	0,08	0,07	0,06	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02

Tabla 11 Transmitancias Térmicas para diferentes Soluciones Constructivas

Se observa un gran incremento del espesor de aislamiento a partir del valor de transmitancia térmica 0,30 W/m<sup>2</sup>K., donde de soluciones constructivas actuales con espesores máximos "asequibles" a la edificación residencial española, como son ocho centímetros (8cm.), se pasa a necesitar entre diez y veintitrés para los casos más exigentes.



Se ha tomado esta decisión, por tanto, para que todas las zonas climáticas tengan la misma distribución sobre las medidas de mejora, ya que el valor mínimo obtenido en construcción hoy en día está en torno al 0,30 W/m<sup>2</sup>K marcado, asumible en las soluciones constructivas empleadas en la edificación residencial independientemente de donde se encuentre; por ello, en zonas más frías no tienen muchos más rangos de actuación.

En todos los casos, el número de variables puede ser ampliado sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo. A su vez, las soluciones de transmitancias de cerramientos van asociadas a una solución de cubierta y de suelo usual, es decir, no se construyen edificios con una óptima transmitancia de cerramientos y una base de código técnico en la cubierta o el suelo.

### **Cerramientos translúcidos (huecos)**

Para el análisis de las soluciones constructivas de huecos, se plantean una serie de cuatro combinaciones fijas de vidrios y marcos que reducen el amplio número posible de variables y que contemplan la mayoría de las soluciones adoptadas en la construcción hoy en día.

Para soluciones de huecos de fachada se ha tomado la transmitancia más alta de acristalamientos más comunes usados en construcción actualmente, de transmitancia 3,30 W/m<sup>2</sup>K, la menor viable actualmente, de 1,50 W/m<sup>2</sup>K y una media entre estos dos valores, 2,40 W/m<sup>2</sup>K.

Se ha tomado esta decisión para que todas las zonas climáticas tengan la misma distribución sobre las medidas de mejora, ya que el valor mínimo obtenido en construcción hoy en día está en torno al 1,50 W/m<sup>2</sup>K marcado, independientemente de dónde se encuentre; por tanto, en zonas más frías no tienen muchos más rangos de actuación.

En todos los casos, el número de variables puede ser ampliado sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo.

## SOLUCIONES ESPECIALES

Los procedimientos generales no asumen a día de hoy la posibilidad de emplear soluciones constructivas especiales como muros trombe, fachadas ventiladas, etc., aunque ya está redactado y aceptado el procedimiento a seguir para su implementación en la normativa y se están empezando a presentar los documentos reconocidos para ello; en ellos se reconocerán estas soluciones como "Capacidades Adicionales".

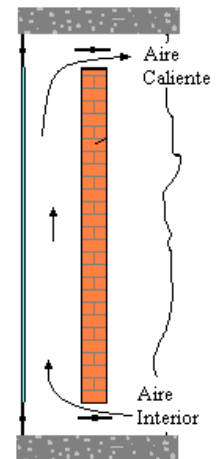
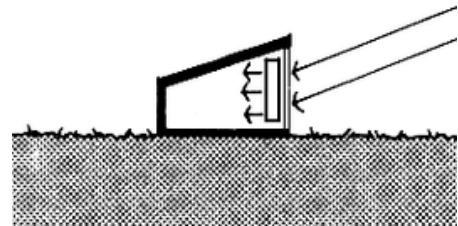
Al no estar estos elementos implementados para los procedimientos generales, tampoco lo están para los procedimientos simplificados; sin embargo, existen tesis y estudios pormenorizados que han generado un profundo conocimiento de dichas soluciones. Por ejemplo, las soluciones de muro Trombe y muro Solar estudiados por el profesor Ruiz Pardo en su tesis: "*Ahorro energético mediante el uso de elementos doble envolvente Transparente-Opaco*" se encuentran suficientemente estudiadas como para la aplicación directa en estudios energéticos simplificados, como después se detalla documentados en el Anexo IV de este documento.

A continuación, se procede a la breve descripción y modo de trabajo de las soluciones muro Trombe y muro Solar implementados en esta tesis:

### MURO TROMBE

Un muro Trombe o muro Trombe-Michel, es un muro o pared orientada al sol, construida con dos hojas separadas por una cámara de aire; la hoja interior debe estar construida con materiales que puedan acumular calor bajo el efecto de masa térmica (tales como piedra, hormigón, adobe o agua), y la hoja exterior, por una lámina de vidrio formando un colector solar térmico.

Un muro Trombe moderno posee aperturas en la parte inferior y superior del mismo para permitir que el aire menos caliente ingrese por la parte inferior, luego circule en la cámara de aire entre la superficie exterior del muro y el vidriado y con más calor salga por el orificio superior hacia el ambiente interior. Esto puede explicarse bajo el fenómeno físico denominado convección. Como la masa térmica del muro acumuló el calor del día, éste irá entregando lentamente el calor al interior del local a lo largo de la noche. Los orificios de ventilación deben poseer rejillas o esclusas a modo de compuertas para regular el flujo del calor y evitar un flujo inverso nocturno que enfríe el ambiente interior en vez de calentarlo. También pueden incorporarse ventiladores en la parte superior e inferior del vidriado exterior para refrescar el ambiente interior durante el verano evitando un sobrecalentamiento del muro.

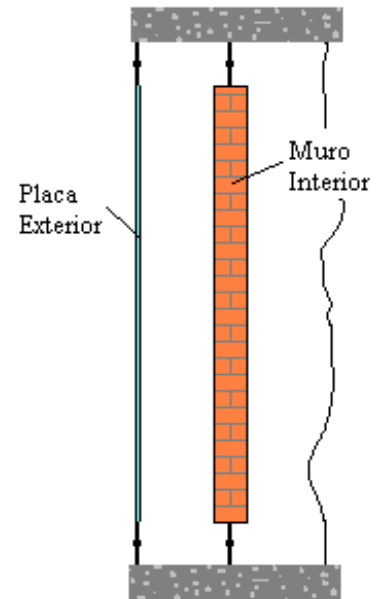
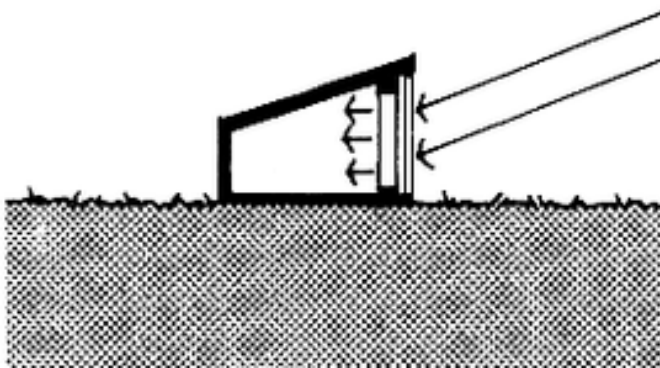




Durante la noche, la masa térmica puede ayudar a amortiguar y reducir significativamente las pérdidas de calor. En los diseños más actuales se utilizan nuevas tecnologías que permiten un aislamiento térmico transparente conservando el calor capturado durante el día y, en consecuencia, reduciendo las dimensiones del muro Trombe respecto de las dimensiones del local. Este aislamiento no sólo reduce las pérdidas de calor nocturnas, sino que permite bajar los costos mejorando la ganancia de calor diurna.

## MURO SOLAR

Solución igual que el Trombe pero sin recirculación de aire.



El procedimiento de inclusión en el cálculo energético simplificado queda expuesto en el Anexo IV específico para el desarrollo matemático de este punto.

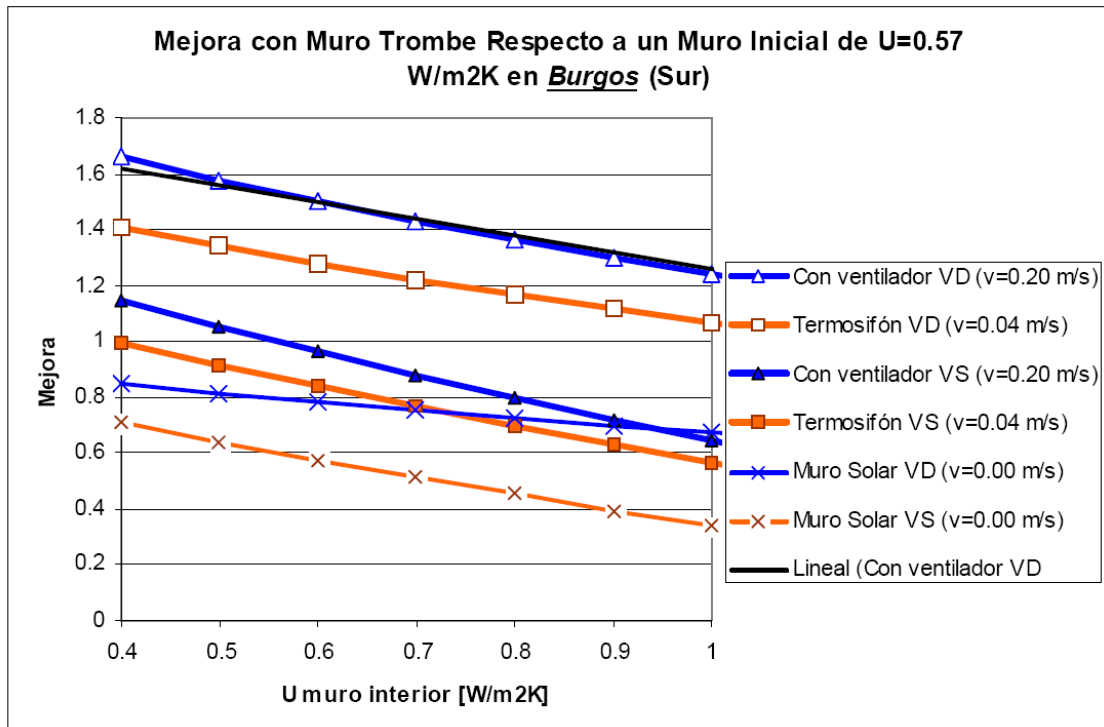
Al ser cerramientos con una cámara de aire tras una hoja de vidrio, éstos poseen unas mayores ganancias solares a la vez que se amortigua la temperatura exterior para la hoja opaca interior, por lo que también posee menos pérdidas. Esta complementariedad hace de estos cerramientos unas interesantes propuestas en las medidas pasivas de la arquitectura energéticamente eficiente.

Como resumen, podemos remarcar que si el comportamiento descrito lo trasladamos a la matemática del comportamiento de balance energético que posee, se puede decir que:

$$U_{muro\_corregido} = (1 - Mejora) \cdot U_{cte}$$

Por tanto, podemos sustituir cualquier superficie de cerramientos al Sur por una transmitancia equivalente igual a  $(1 - Mejora) \times U_{base}$ . Se muestran a continuación las gráficas de mejoras obtenidas para las principales capitales de provincia de cada zona climática, incluida en el procedimiento propuesto por esta tesis.

Desde éstas, se han generado las tablas de mejoras que suponen los muros Trombe y solares en cada zona climática como vemos en el ejemplo siguiente, para zona climática E1 (Burgos).



Se considera, para el cálculo, que estos muros ocupan sólo las bandas continuas verticales entre ventanas del área total de la fachada Sur (un 80%), como muestra la imagen.



Área de cálculo de fachadas con soluciones especiales.

## TRATAMIENTO DE PUENTES TÉRMICOS

El actual procedimiento simplificado para la calificación energética de edificios de viviendas (Ce2), recoge la influencia de los puentes térmicos como una constante en la demanda de calefacción que el usuario no puede modificar, dependiente de la zona climática en la que se encuentre el edificio, y que se muestra en la tabla a continuación:

	A	B	C	D	E
<b>puentes térmicos</b>	<b>1,13</b>	<b>1,19</b>	<b>1,29</b>	<b>1,34</b>	<b>1,34</b>

Tabla 12 Influencia de Puentes Térmicos en cada Zona Climática

Esta cláusula es restrictiva por ser un procedimiento simplificado. Sin embargo, el procedimiento general asume varias tipologías de puentes térmicos, por lo que se ha optado por implementar la herramienta de análisis, incluyendo un factor corrector del valor del procedimiento simplificado para los puentes térmicos. Esto se realiza sabiendo que el valor menor que pueden adoptar los puentes térmicos es que afecten a la demanda de calefacción; como mínimo, será en torno a un cuatro por ciento (4%).

Por tanto, se generan tres posibles valores para la influencia del puente térmico: el caso base para cada zona climática, el valor mínimo posible en torno a 1,04 y la media entre ambos, quedando del siguiente modo la tabla final de multiplicadores de factores de puentes térmicos:

<b>factores multiplic. de puentes térmicos</b>	A	B	C	D	E
	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>	<b>1,00</b>
	<b>0,95</b>	<b>0,95</b>	<b>0,92</b>	<b>0,92</b>	<b>0,89</b>
	<b>0,90</b>	<b>0,90</b>	<b>0,85</b>	<b>0,85</b>	<b>0,78</b>

Tabla 13 Influencia de Puentes Térmicos según las soluciones constructivas de ejecución

En todos los casos el número de variables puede ser ampliado sin más problemas que el consiguiente aumento de las variables y el tiempo de cálculo.

### VENTILACIÓN NOCTURNA (renovaciones por hora)

Las estrategias de implementación de la ventilación nocturna en el procedimiento simplificado de calificación energética, seguido en esta tesis, quedan documentadas en el Anexo IV de este documento.

Hasta ahora, el actual procedimiento general para la calificación energética de edificios, recoge la influencia de la ventilación nocturna como una constante en la demanda de refrigeración, que el usuario no puede modificar (4 renovaciones/hora); a ciencia cierta se sabe que un aumento de éstas, mediante ventilación mecánica contralada, serían muy beneficiosas, pero sin saber cuánto, ya que nunca se han analizado explícitamente las mejoras producidas por esta ventilación nocturna.

El actual procedimiento simplificado para la calificación energética de edificios, recoge la influencia de la ventilación nocturna como una constante en la demanda de refrigeración, como muestra la siguiente ecuación:

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + \sum \Delta IEE_{Sur}$$

Si se toma una amplia muestra de edificios y se calcula la demanda de refrigeración de cada uno de ellos con una ventilación nocturna de 4 renov./hora, 6 renov./hora, 8 renov./hora y 10 renov./hora (fácilmente asumibles para una ventilación mecánica), y analizamos las variaciones en las medias de las demandas de refrigeración, se puede obtener una propuesta de variación para el término constante de la ecuación anterior, como diferencia entre las pendientes de las ecuaciones lineales que rigen la distribución de los puntos obtenidos.

Así obtenemos que:

Renovaciones / Hora	Demanda de Refrigeración media obtenida	Constante resultante
4	11,79 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,47</b>
6	10,64 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,42</b>
8	9,10 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,36</b>
10	8,44 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,33</b>

Tabla 14 Variación de la Constante en función de la Ventilación Nocturna

## 9. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] MITYC. *Real Decreto para la Certificación Energética de Edificios de Nueva Planta, RD\_47/2007*, 2007
- [2] MITYC. *Documento Reconocido para el Nuevo Procedimiento Simplificado de Certificación Energética de Edificios de vivienda de Nueva Planta Ce2*, 2009
- [3] Zabala I., Díaz S. y Aranda A., *Manual Práctico de Certificación Energética de Edificios*, ISBN-978-84-92521-61-6, 2008
- [4] C.O.A.C.Barcelona, *Estudio de Tipología de Vivienda entre Medianeras y Bloques Lineales / Información Base* de la Sección de Estudios de la Vivienda, 1973.
- [5] Schneider F., *Atlas de Plantas, \_Viviendas*, ISBN-84-252-2050-5, 2006.
- [6] Neufert P. y Neff L., *Casa\_Vivienda\_Jardín*, ISBN-978-84-252-2095-1, 1ªedic. 1999 - 2ª edic. 2007
- [7] Broto C., *Casas entre Medianeras*, ISBN-84-96263-99-1, 2007
- [8] Schleifer S., *Apartamentos Pequeños*, ISBN-3-8228-4179-X, 2005
- [9] Álvarez Domínguez S., *Análisis del Comportamiento Térmico de Edificios*, Tesis Doctoral, Universidad de Sevilla, 1986.
- [10] Sánchez F., *Modificaciones Microclimáticas Inducidas por el Entorno del Edificio y su Influencia Sobre las Demandas Energéticas de Condicionamiento*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, ETSII, 2003.
- [11] De Luxan, M., Vázquez M., Gómez G., Román E. y Barbero M., *MActuaciones con criterios de sostenibilidad en la Rehabilitación de Viviendas en el Centro de Madrid*. Universidad Politécnica de Madrid, EMV\_Madrid, 2009.
- [12] Salmerón JM., *Caracterización de las Técnicas de Refrigeración Natural con Acumulación Estructural. Potencial de Ahorro Energético en el Acondicionamiento de Edificios*. Tesis doctoral. Universidad de Sevilla, ETSII, 2004.
- [13] Coronel J.F., *Simulación Térmica de Entornos Arquitectónicos. Aproximación a los Espacios Exteriores*, Tesis doctoral, Universidad de Sevilla, Escuela Superior de Ingenieros, Grupo de Termotecnia, Abril 1998.
- [14] Instituto Eduardo Torroja de Ciencias de la Construcción, Seminario 16, *La Eficiencia Energética en la Edificación*, Curso de Estudios Mayores de la Construcción CEMCO 2004: Nuevas Tendencias en la Construcción.
- [15] Cook J. *Passive Cooling*, UK, Cambridge, MA, Londres: MIT Press, 1985.

- [16] Ashdown I. *Radiative Transfer Networks Revisited*. Proceedings of IESNA, Paper 8. 2001.
- [17] Ashdown I. *Radiosity: A Programmer's Perspective*. John Wiley & Sons, Inc. New York, 1994. Disponible versión electrónica (2004) en <http://www.helios32.com>.
- [18] Baker, N. V., Fanchiotti, A., Steemers, K. N. *Daylighting in Architecture. An European Reference Book*. Commission of the European Communities. Directorate General XII. 1993.
- [19] Behling, S. *Sol Power*. Prestel Verlag. München. 1995.
- [20] Bollnow, O. F. *Mensch und Raum*. Kohlhammer. Stuttgart. 2000
- [21] Cabeza Lainez, J.M. et al. (1999). *Scientific designs of sky-lights*. Conference on passive and low energy architecture (PLEA). Brisbane. Australia.
- [22] Cabeza Lainez, J.M. *Luz Natural, Color y Forma. Aplicaciones en el Diseño Científico de Arquitectura*. VI Congreso Nacional de Color. Sevilla. 2002.
- [23] Cabeza Lainez, J.M., Almodóvar-Melendo, J.M. *The architect Roberto Rivero and day-lighting research*. PLEA 2003. Santiago de Chile
- [24] Cabeza Lainez, J.M., Almodóvar-Melendo, J.M. *Influencia del color de las Protecciones Solares sobre la Iluminación Natural de los Espacios Arquitectónicos*. VII Congreso Nacional de Color. Pamplona 2004.
- [25] Cabeza Lainez, J. M. The Japanese experience of environmental architecture through the works of Bruno Taut and Antonin Raymond. Vol.6 (2007) Nº.1 Páginas. 33 a 40. Journal of Asian Architecture and Building Engineering (JAABE). ISSN: 1346-7581
- [26] Cabeza Lainez, J. M. Radiative performance of louvres, Simulation and examples in Asian Architecture. IAQVEC. Volume III . ISBN: 978-4-86163-072-9 C3052 \4762E. Sendai (Japan). 2007
- [27] Cabeza Lainez, J. M. The Quest for Light in Indian Architectural Heritage Vol.7 (2008) Nº.1 Páginas. 17 a 25. Journal of Asian Architecture and Building Engineering (JAABE). ISSN: 1346-7581.
- [28] Cabeza Lainez, J.M. *Lighting Features in Japanese Traditional Architecture*. En "Lessons from Traditional Architecture". Editores, Yannas, S., Weber, W. Earthscan. London 2009. ISBN 9781844076000
- [29] DiLaura D. L. *New procedures for Calculating Diffuse and Non-Diffuse Radiative Exchange Form Factors*. Proceedings of ASME 1999.
- [30] Ditchburn R. W. *Light*. Dover Publications Inc. New York. 1961.
- [31] Eck, D. *Banaras City of Light*. Princeton University Press. 1982.

- [32] Feynman, R. P. *Quantum electrodynamics: The Strange Theory of Light and Matter*. Penguin Books. 1990.
- [33] Fock, V. *Zur Berechnung der Beleuchtungsstärke*. Zeitschrift of Physik 28 (1924).
- [34] Garibaldi, Chiara. *Simulazione deterministica della radiazione solare nella chiesa di San Lorenzo a Torino*. CNR. 1994.
- [35] Gershun, A. *Notions du champ lumineux et son application a la photométrie*. Revue Générale d'Électricité 42 (1937).
- [36] Giedion Sigfried. *Architecture and the phenomena of transition. The three spatial conceptions in Architecture*. Harvard University Press. New York. 1971.
- [37] Hamilton, D. C. y Morgan, R. W. *Radiant Interchange Configuration Factors*. Technical Note 2826, Nation Advisory Committee for Aeronautics, Washington D. C. 1952.
- [38] Heschong, L. *Thermal Delight in Architecture*. The MIT Press 1990.
- [39] Higbie, H. H. *Lighting Calculations*. John Wiley and Sons. New York. 1934.
- [40] Holman, J.P. *Heat Transfer*. Mac Graw-Hill. 1997. New York.
- [41] Hopkinson, R. G.; Petherbridge, P.; Longmore, J. 1966 *Daylighting*. London. Heinemann.
- [42] Lambert J. H. *Photometria. sive de mensura et gradibus Luminis, Colorum et Umbrae*. Editor. D. DiLaura. IESNA. 2001.
- [43] Navarro Casas, J. *Sobre Iluminación Natural en Arquitectura*. Universidad de Sevilla. 1983.
- [44] Robbins, C. L. *Daylighting. Design and Analysis*. Van Nostrand Reinhold. (1986). New York.
- [45] Tanizaki, J. *In Praise of Shadows*. Leete's Island Books. Stony Creek. 1977.

## **ANEXOS**



## ANEXO I: OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS BÁSICAS DE LAS TIPOLOGÍAS DE ESTUDIO

Se han determinado las dimensiones más comunes de plantas y patios con los que se desarrollan las combinaciones posteriores.

Asimismo, se han determinado los límites de rangos de superficies de plantas y patios con los que se desarrollan las combinaciones, derivados del estudio pormenorizado de tipologías edificatorias que ahora se muestra.

### ESTUDIO DE EDIFICIOS SIN PATIOS

sin patios	long. de fachadas	g. de median	superficie	L fachada/medianera
	5	13,5	68	0,4
	7	13,5	95	0,5
	15	8	120	1,9
	7,5	8	60	0,9
	8	7,75	62	1,0
	10,5	7,75	81	1,4
	10,8	9,7	105	1,1
	10,5	14	147	0,8
	14,4	14,4	207	1,0
	13	14,8	192	0,9
	19,4	7,8	151	2,5
	7,5	9,5	71	0,8

Percentil 0.1	7	8	60	0,5
promedio	11	11	105	1,1
percentil 0.9	15	14	184	1,8

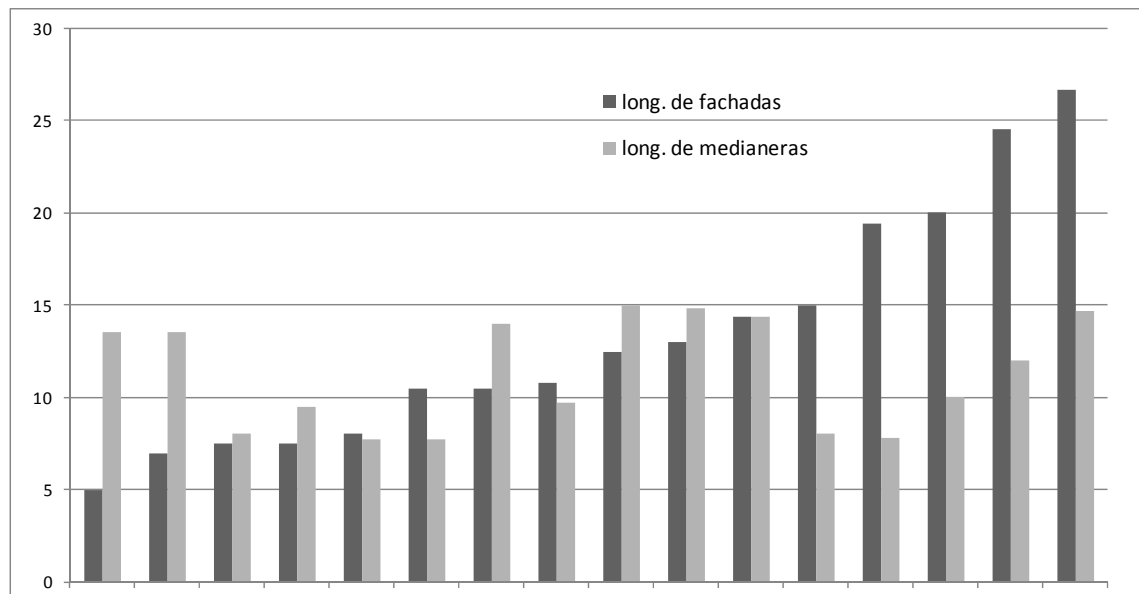


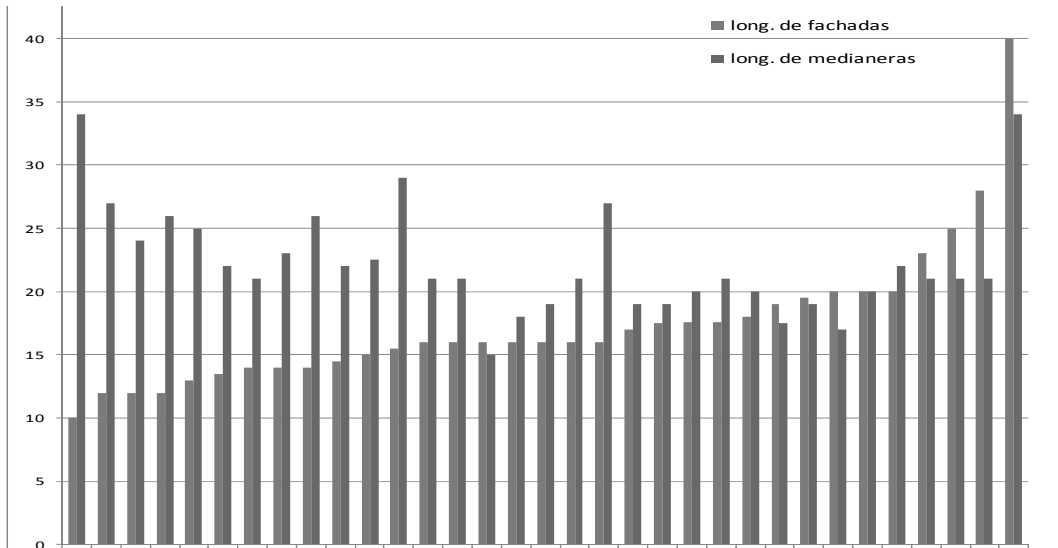
Tabla 15 Parámetros característicos de edificios de viviendas sin patio

**ESTUDIO DE EDIFICIOS CON PATIOS**

con patios	ng. de fachada	long. de medianeras	Lpatio lado ppal	lPatio lado sec.
	10	34	6	4
	12	27	5	4
	12	24	4	4
	12	26	4	4
	13	25	4	4
	13,5	22	4	4
	14	21	4	4
	14	23	4	4
	14	26	4	4
	14,5	22	4	4
	15	22,5	5	7
	15,5	29	6	4
	16	21	4	4
	16	21	4	4
	16	15	4	4
	16	18	4	4
	16	19	4	4
	16	21	4	4
	16	27	4	4
	17	19	4	4
	17,5	19	4	4
	17,6	20	4	4
	17,6	21	4	4
	18	20	5	6
	19	17,5	4	4
	19,5	19	4	4
	20	17	3	4
	20	20	4	4
	20	22	4	4
	23	21	5	7
	25	21	20	4
	28	21	8	7
	40	34	18	17

Percentil 0.1	18	12	4	4
promedio	22	17	5	5
percentil 0.9	27	22	6	7

Tabla 16 Parámetros característicos de edificios de viviendas con patio



### ESTUDIO DE EDIFICIOS CON PATIOS (bloques en H)

Bloques H	long. de fachadas	g. de median	Lpatio lado ppal	IPatio lado sec.
	18	20	10	6
	19	23	12	5
	12	26	6	6
	19	23	12	5
	12	26	8	3
	11	15	8	5
	12	19	8	5
Percentil 0.1	17	12	7	4
promedio	22	15	9	5
percentil 0.9	26	19	12	6

Tabla 17 Parámetros característicos de edificios de viviendas con patio (Bloques en H)

### PORCENTAJE DE HUECOS POR FACHADA

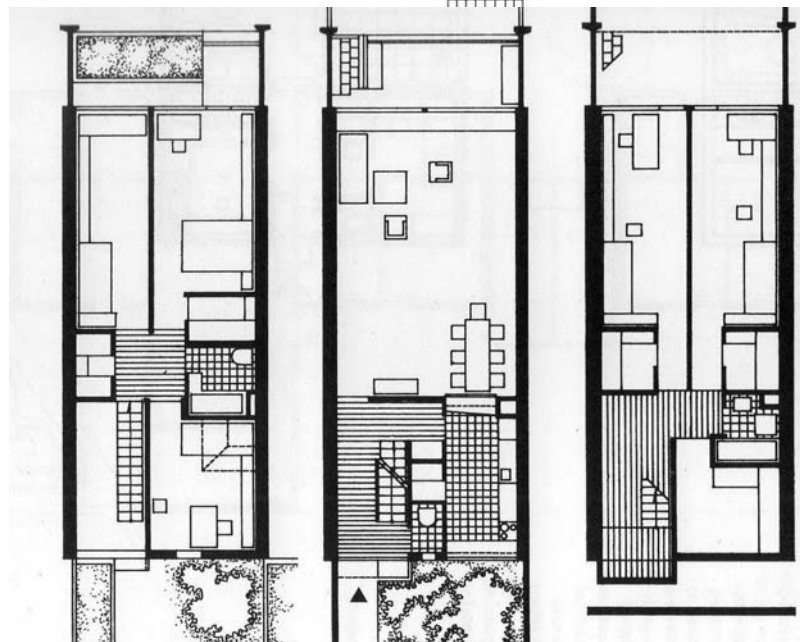
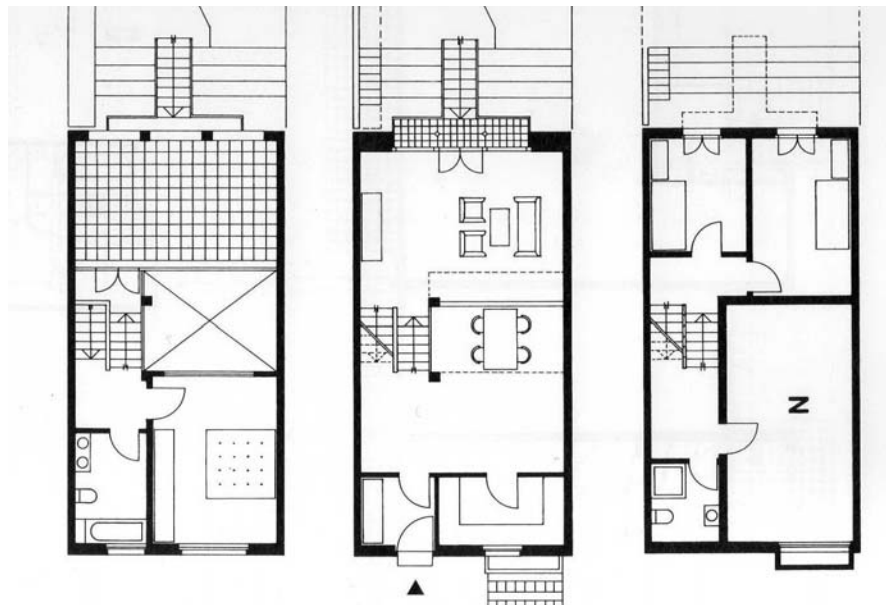
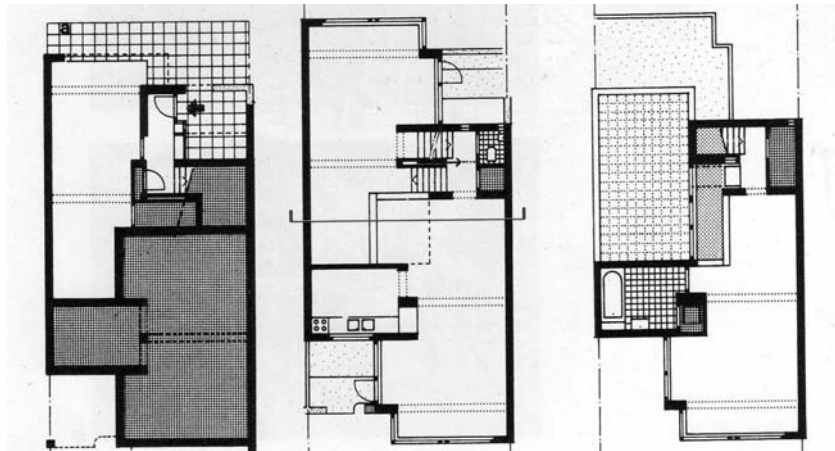
%huecos por fachada	% fachada 1	% fachada 2	% fachada 3	% fachada 4
	27	27	9	3,25
	20	20	27	27
	29	26	29	36,5
	20	20	21	-
	29	29	18	-
	19	19	-	-
	38	23,5	-	-
	20	8	-	-
	38	23,5	-	-
	19	17	-	-

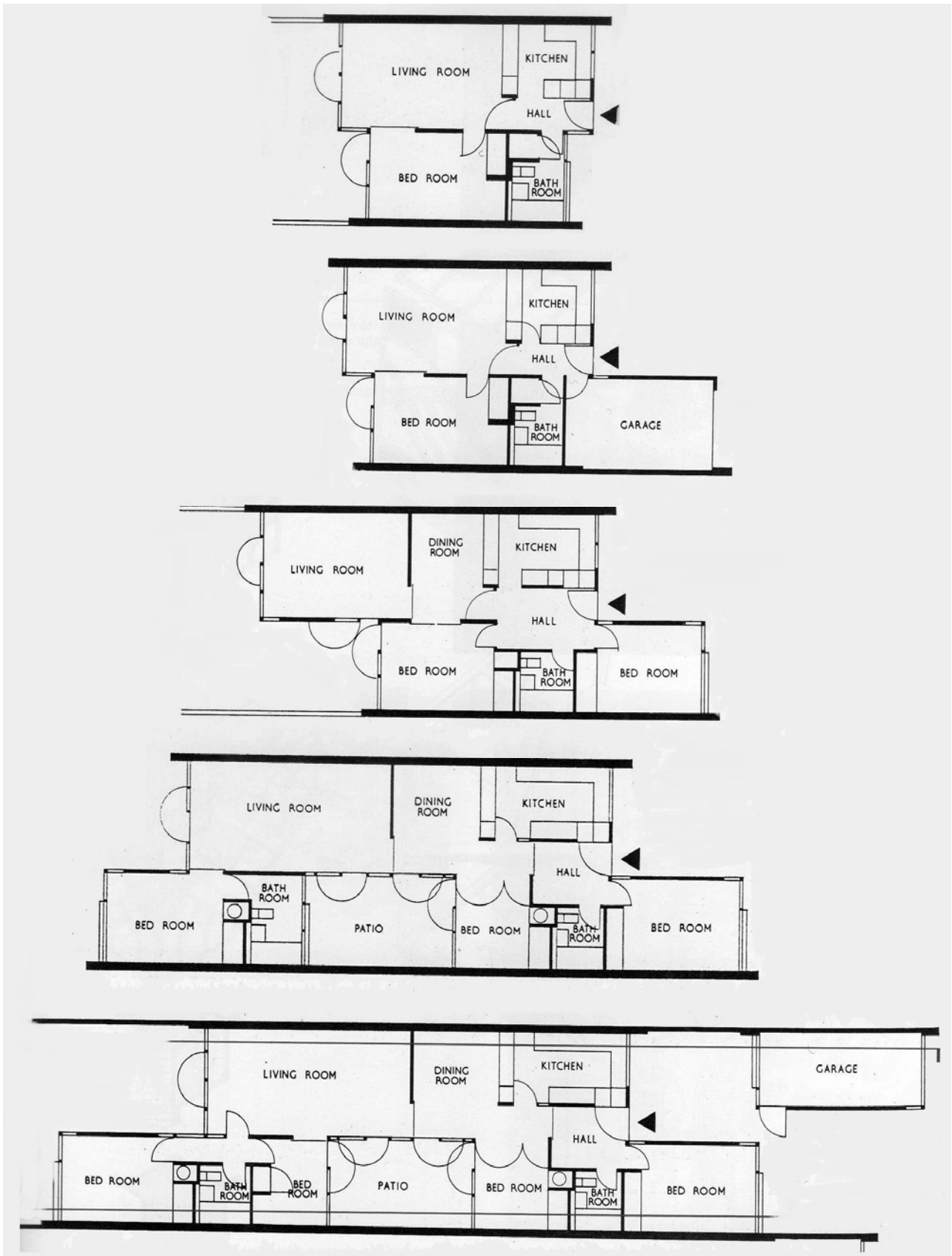
Tabla 18 Porcentaje de Huecos Promedios por fachada

A continuación se muestran algunos ejemplos de estudios de geometrías y áreas de plantas de edificios plurifamiliares:

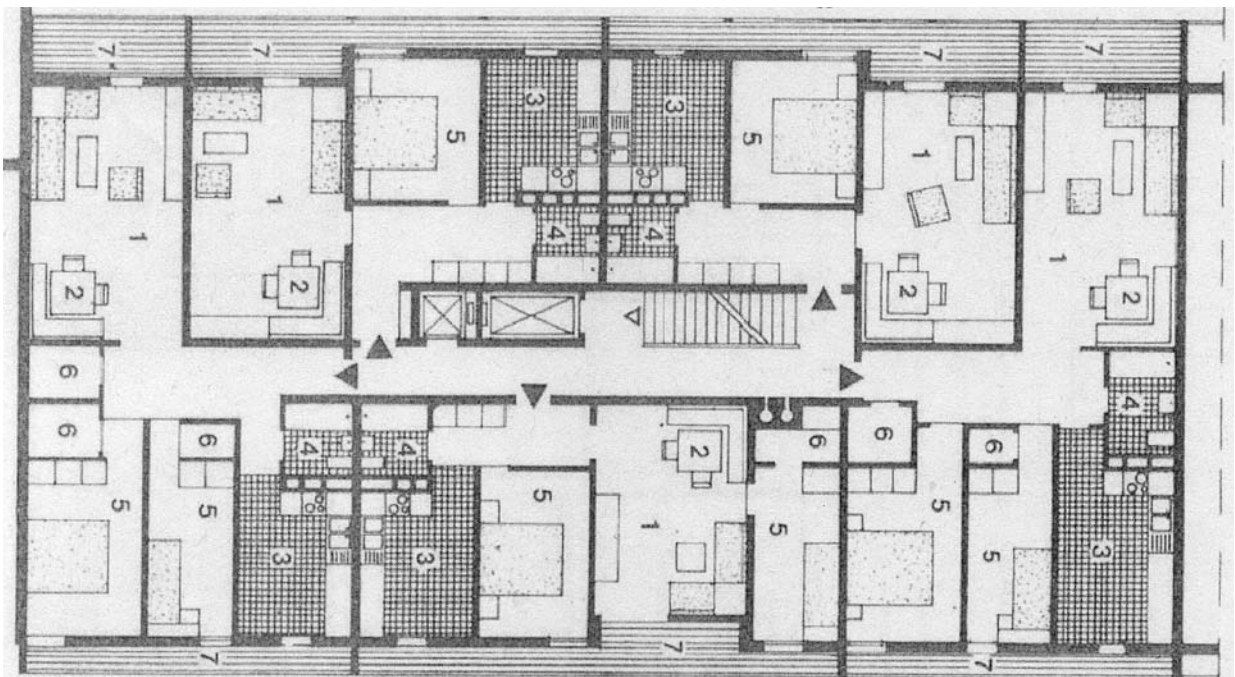
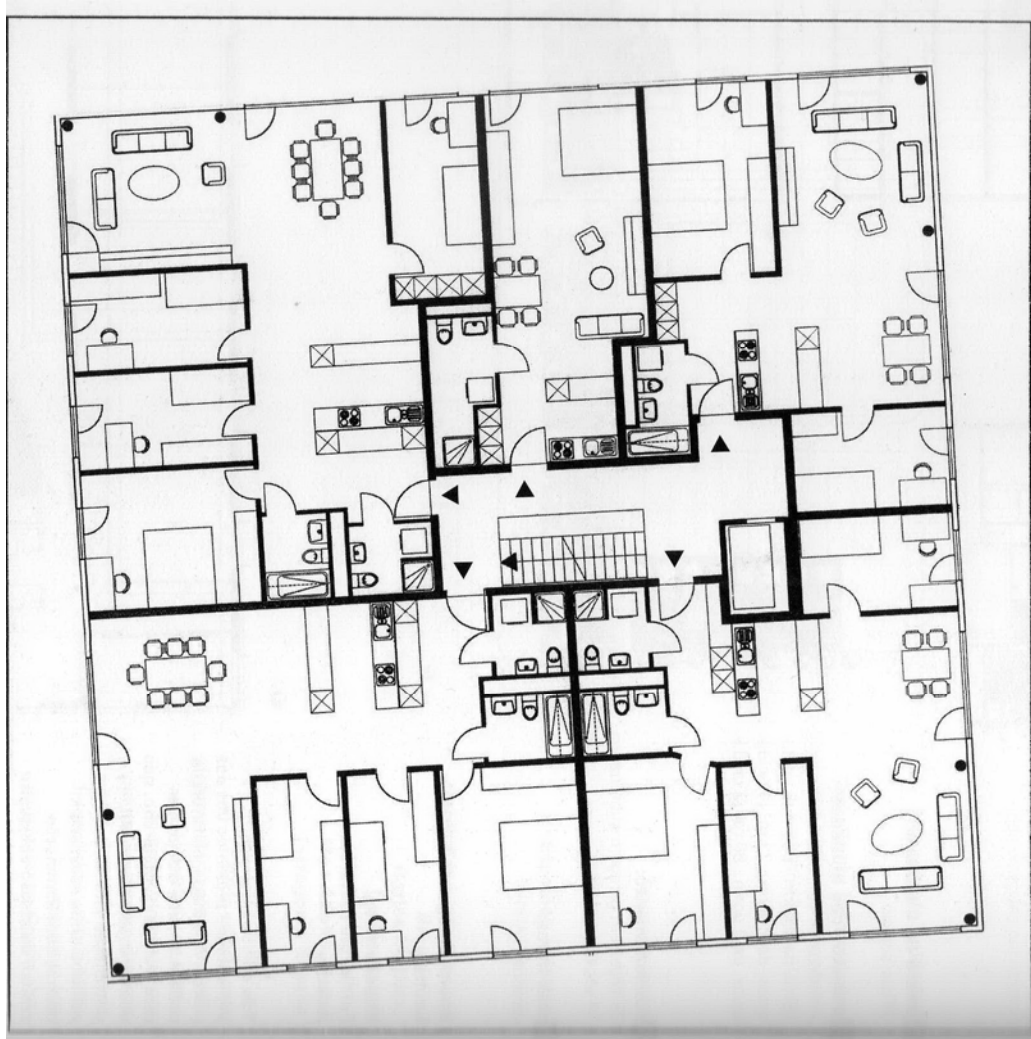
## ESTUDIO DE EDIFICIOS SIN PATIOS

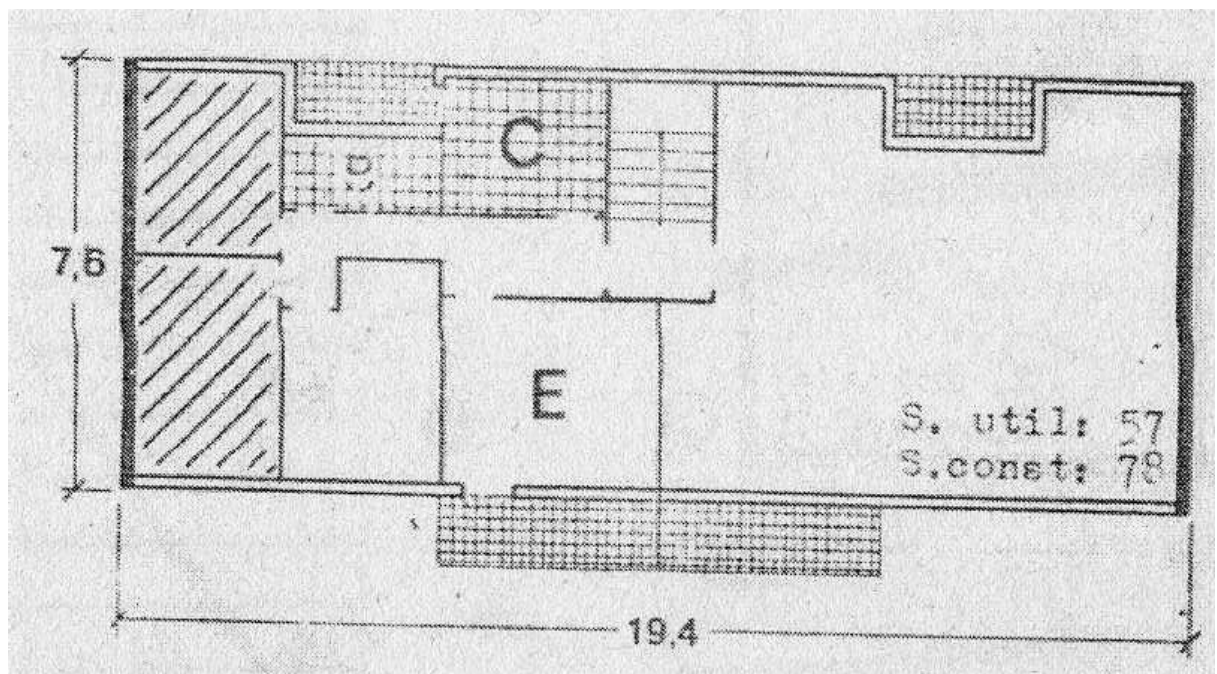
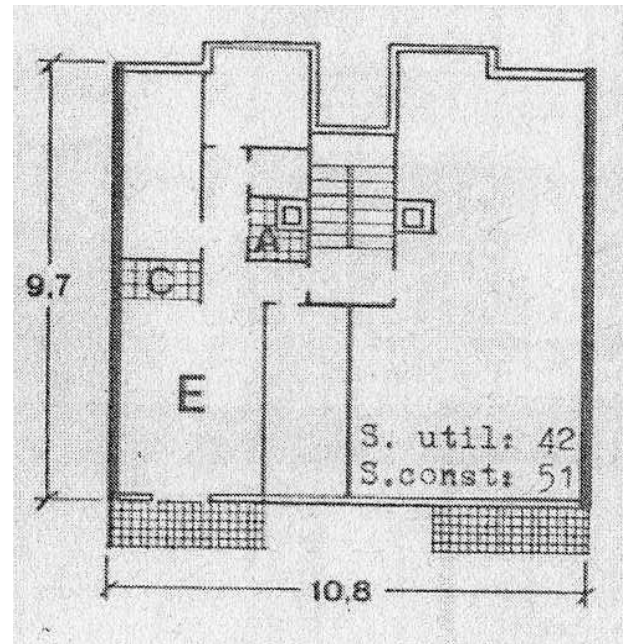
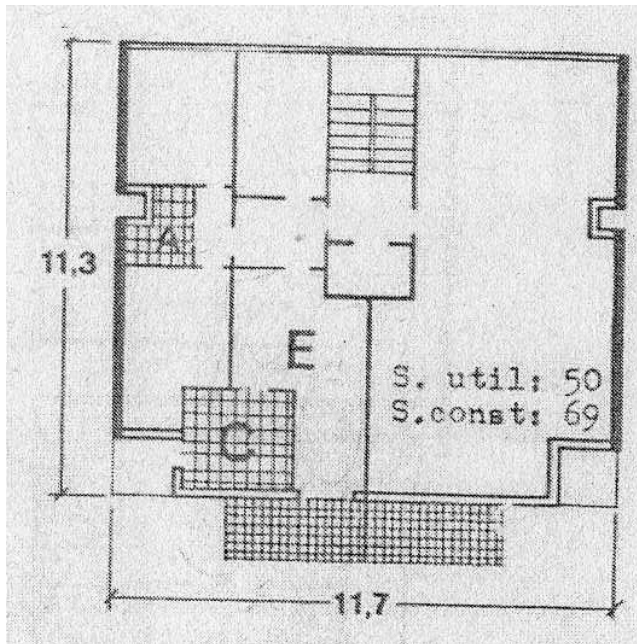
### Edificios Unifamiliares





**Evolución de plantas unifamiliares entre medianeras según estancias**

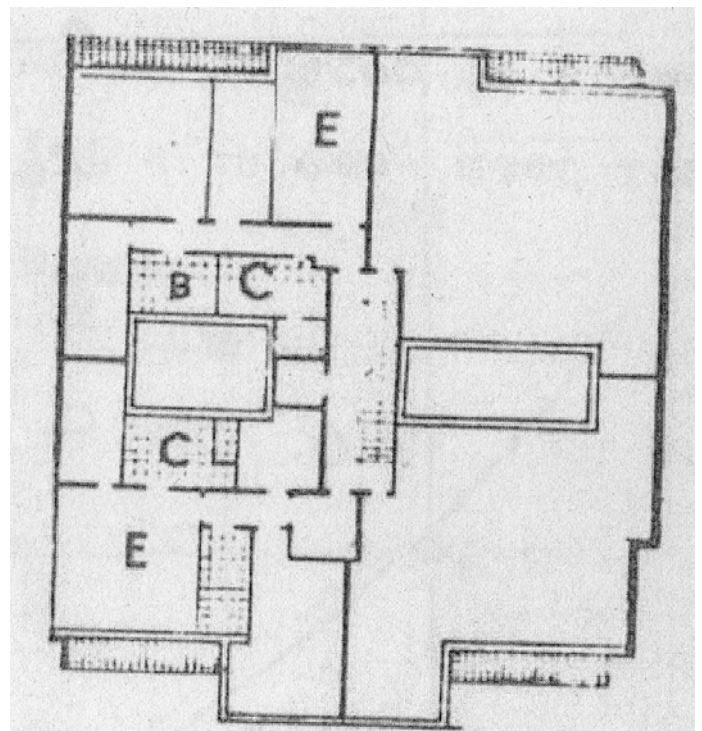
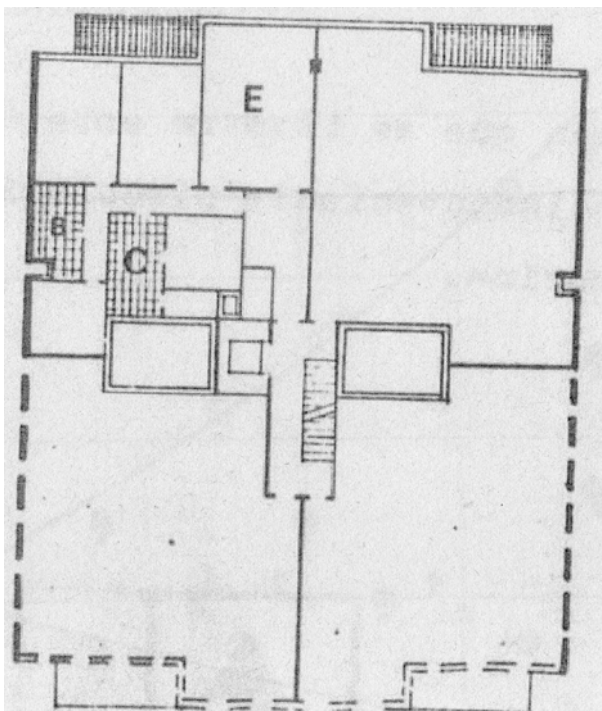
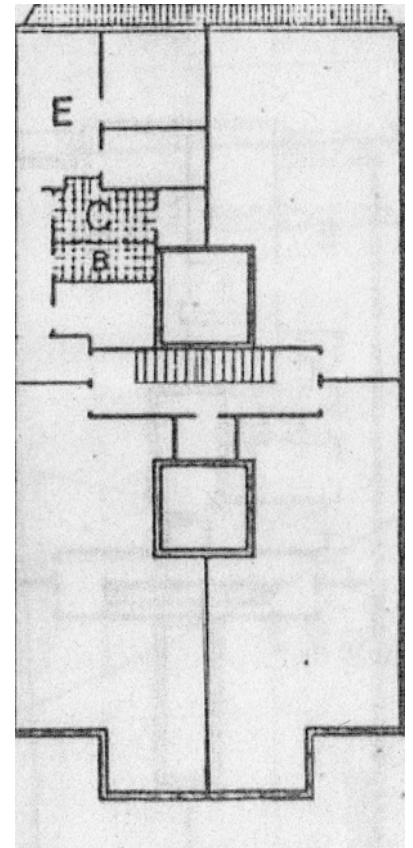
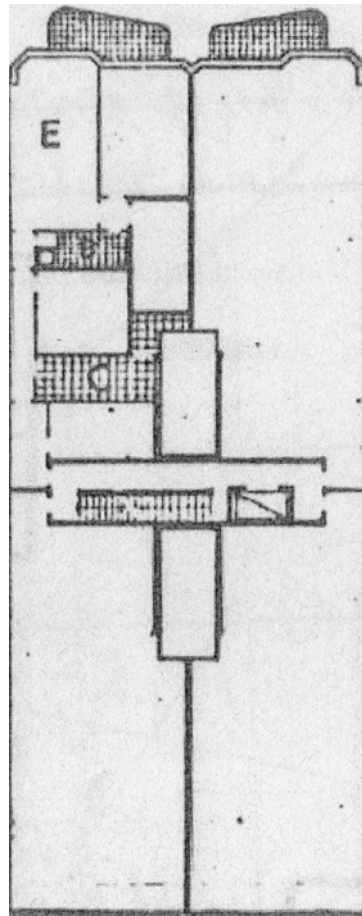
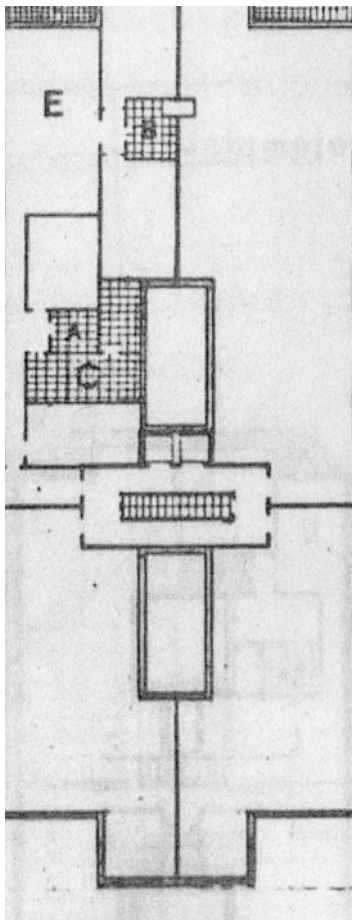




**Evolución de plantas en bloques entre medianeras con dos viviendas por planta**

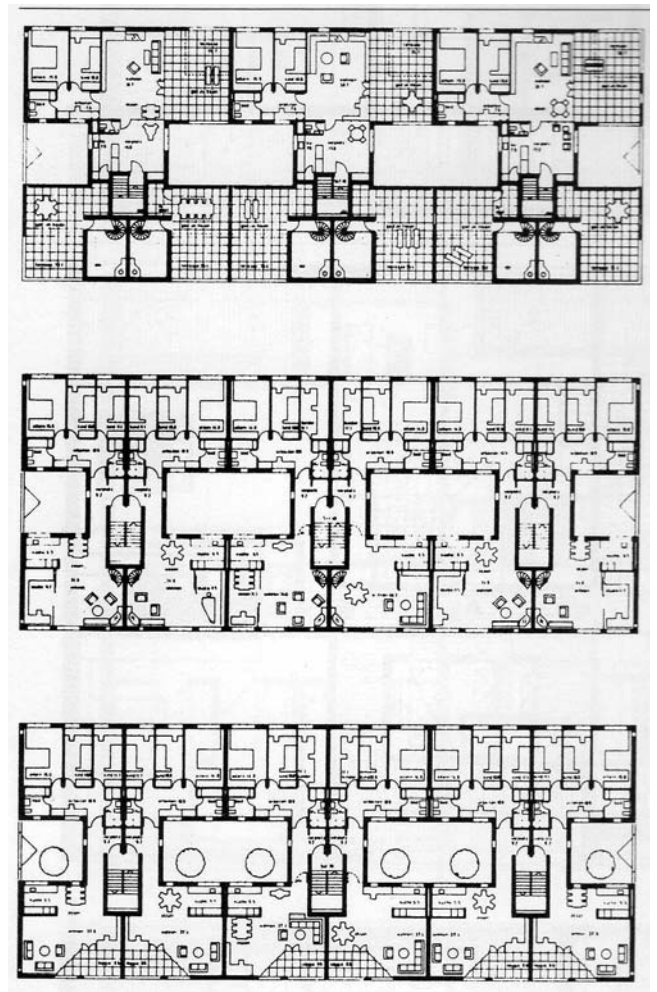
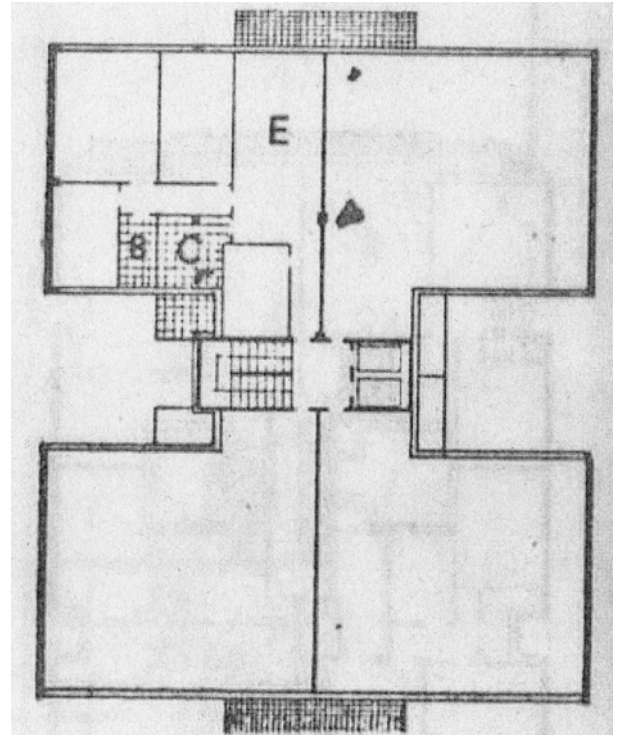
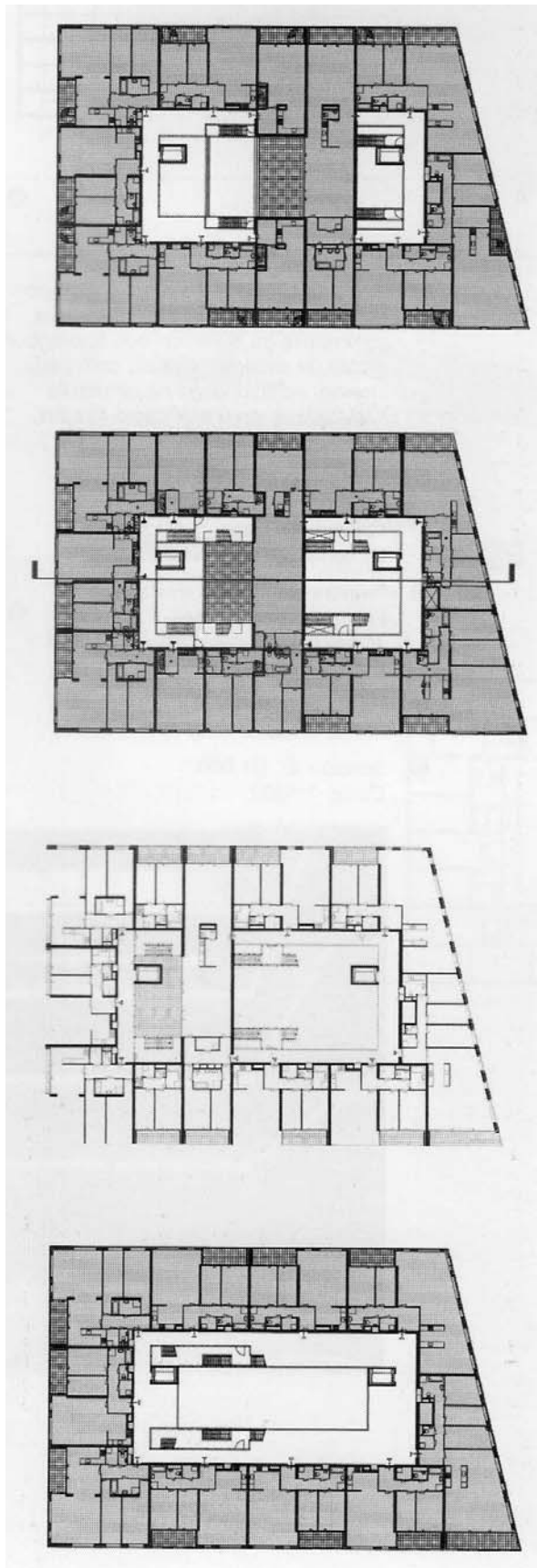


**ESTUDIO DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS EN BLOQUE CON PATIOS**



**Evolución de plantas de bloque de viviendas con cuatro viviendas por planta**





**Evolución de plantas de bloque de viviendas con patios**

## **ANEXO II: DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA GENERAL SEGUIDA EN LA QUE SE FUNDAMENTA EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO**

Para la obtención de las correlaciones de calefacción y refrigeración, se ha partido de las expresiones matemáticas que simulan el comportamiento térmico del edificio, recogidas en la norma UNE-EN ISO 13790<sup>8</sup>.

En cada caso (calefacción y refrigeración), se ha comprobado si los resultados obtenidos aplicando estas expresiones con los datos generados en la fase anterior se ajustaban a los valores de demanda.

A partir de este análisis inicial, se ha ido corrigiendo el modelo, añadiendo nuevas variables con objeto de obtener el mejor ajuste posible.

En el proceso de análisis de las correlaciones se han realizado diversos análisis hasta llegar al resultado final (correlaciones específicas para cada zona climática y tipología edificatoria). La secuencia de pasos seguida ha sido la siguiente:

- Establecimiento de correlaciones con todas las demandas de la base de datos generadas.
- Establecimiento de correlaciones específicas para cada zona climática, desagregando las demandas obtenidas para los casos simulados en cada zona.
- Establecimiento de correlaciones específicas para cada tipología de edificios, desagregando las demandas obtenidas para los casos correspondientes a cada tipología.
- Establecimiento de correlaciones específicas para cada tipología y zona climática.

Únicamente el último análisis ha generado correlaciones con la suficiente solidez estadística como para ser utilizadas en el proyecto (ver apartado 2.3).

## **Modelos de calefacción**

### **PUNTO DE PARTIDA**

Según lo indicado anteriormente, la expresión matemática de la que se parte para estimar la demanda de calefacción<sup>9</sup> de un edificio (en kWh/m<sup>2</sup>) es:

**Figura 2. Expresión para el cálculo de la Demanda energética de calefacción en un edificio basada en la norma UNE-EN-ISO 13790:2008.**

---

<sup>8</sup> UNE-EN ISO 13790:2008. Eficiencia térmica de los edificios. Cálculo del consumo de energía para calefacción de espacios.

<sup>9</sup> Se han considerado como meses de calefacción enero, febrero, marzo, abril, mayo, octubre, noviembre y diciembre.

$$DC_{mes} = \left\{ \begin{aligned} & a_{mes} \cdot \left( \frac{Um}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + b_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + \\ & + c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + d_{mes} \end{aligned} \right\}$$

siendo:  $a_{mes} = a_1 + a_2 \cdot SCI_{mes} \quad \dots \quad b_{mes} = b_1 + b_2 \cdot SCI_{mes} \quad \dots \quad c_{mes} = c_1 + c_2 \cdot SCI_{mes}$   
 $d_{mes} = d_1 + d_2 \cdot SCI_{mes}$

La demanda de calefacción calculada con esta ecuación tiene un valor positivo, siendo el significado de cada término el siguiente:

- El primer término recoge la influencia del nivel de aislamiento del edificio, de su compacidad y del clima, a través de los grados-días. Tiene signo positivo porque contribuye a aumentar la demanda de calefacción.
- El segundo término recoge la influencia del nivel de acristalamiento del edificio y del clima, a través de la radiación solar. Tiene signo negativo, es decir, contrario al de la demanda de calefacción.
- El tercer término recoge la influencia de la ventilación y/o la infiltración del edificio y del clima, a través de los grados-días. Tiene signo positivo porque contribuye a aumentar la demanda de calefacción.
- En último lugar, se ha añadido un término independiente que recoge la influencia de todos los demás términos de los que depende la demanda de calefacción, como las fuentes internas.

Si se usa la anterior ecuación para un determinado mes, se obtendrá la demanda de calefacción de dicho mes. Para obtener la demanda para toda la estación de invierno (de octubre a mayo), se tiene:

**Figura 3. Ajuste de la anterior expresión para el cálculo de demandas de calefacción en base estacional.**

$$DC_{INVIERNO} = \sum_{\forall meses} DC_{mes} =$$

$$= \left\{ \begin{aligned} & \sum_{\forall meses} a_{mes} \cdot \left( \frac{Um}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + \sum_{\forall meses} b_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + \\ & + \sum_{\forall meses} c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + \sum_{\forall meses} d_{mes} \end{aligned} \right\} =$$

$$= \left\{ \begin{aligned} & a_{INV} \cdot \left( \frac{Um}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{INV} \cdot \frac{24}{1000} + b_{INV} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{INV} + \\ & + c_{INV} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{INV} \cdot \frac{24}{3600} + d_{INV} \end{aligned} \right\}$$

siendo:  $a_{INV} = a_1 + a_2 \cdot SCI_{INV} \quad \dots \quad b_{INV} = b_1 + b_2 \cdot SCI_{INV} \quad \dots \quad c_{INV} = c_1 + c_2 \cdot SCI_{INV}$   
 $d_{INV} = d_1 + d_2 \cdot SCI_{INV}$

Para facilitar el uso de la correlación en base estacional se tiene que:

$$a_{2,INV} = a_2 \cdot \frac{\sum_{\forall \text{meses}} GD_{mes} \cdot SCI_{mes}}{GD_{INV} \cdot SCI_{INV}} \quad \dots \quad b_{2,INV} = b_2 \cdot \frac{\sum_{\forall \text{meses}} Is_{mes} \cdot SCI_{mes}}{Is_{INV} \cdot SCI_{INV}}$$

$$c_{2,INV} = c_2 \cdot \frac{\sum_{\forall \text{meses}} GD_{mes} \cdot SCI_{mes}}{GD_{INV} \cdot SCI_{INV}} \quad \dots \quad d_{1,INV} = 8 \cdot d_{1,mes}$$

siendo:  $GD_{INV} = \sum_{\forall \text{meses}} GD_{mes} \quad \dots \quad Is_{INV} = \sum_{\forall \text{meses}} Is_{mes} \quad \dots \quad SCI_{INV} = \sum_{\forall \text{meses}} SCI_{mes}$

### **DESCRIPCIÓN DEL RESULTADO FINAL**

Sobre las ecuaciones anteriores se ha realizado un análisis de regresión múltiple con objeto de calcular los coeficientes de correlación para ajustar sus resultados a las demandas de la base de datos generada en la fase anterior.

El análisis realizado no ha validado este modelo razón por la cual, a partir del estudio de los resultados de este análisis estadístico se han realizado diversas modificaciones en la ecuación para obtener un nuevo modelo que satisfaga los criterios de validación exigidos en un análisis de regresión múltiple.

Finalmente, se ha obtenido un modelo basado en tres variables complejas (formadas por la combinación de varias variables individuales que representan características geométricas y constructivas del edificio o características climáticas de la zona en la que éste se ubica) y sus cuadrados:

#### **Demanda Calefacción =**

$$a + b (\text{Um} / \text{Compacidad}) * (\text{altura}) * \text{GD} * 24 / 1000$$

$$+ c (\text{renh}) * \text{rho} * \text{CP} * \text{altura} * \text{GD} * 24 / 3600$$

$$+ d (\text{Av} / \text{Aa}) * g * \text{ASSE} * \text{IS}$$

$$+ e [(\text{Um} / \text{Compacidad}) * (\text{altura}) * \text{GD} * 24 / 1000]^2$$

$$+ f [(\text{Av} / \text{Aa}) * g * \text{ASSE} * \text{IS}]^2$$

$$+ g [(\text{renh}) * \text{rho} * \text{CP} * \text{altura} * \text{GD} * 24 / 3600]^2$$

Las variables consideradas en el modelo son comunes para todos los casos, si bien los coeficientes a, b, c, d, e, f y g que multiplican a cada una de ellas han debido ser ajustados para cada tipología y zona climática.

El significado y forma de cálculo de cada una de estas variables se indica a continuación:

<p><math>(U_m)</math></p>	<p><b>(Um) Transmitancia térmica media (en W/m<sup>3</sup> K).</b></p> <p><math>U_m</math> es la transmitancia térmica media del edificio calculada a partir de las transmitancias de los elementos de la envuelta, incluidos los puentes térmicos<sup>10</sup>.</p> $U_m = \frac{\sum_{\forall \text{muros exteriores}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{ventanas}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{cubiertas}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{suelos}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{puentes térmicos}} L_i \Psi_i}{A_t}$ <p>donde, <math>\Psi_i</math> (transmitancia térmica lineal del puente térmico i) y <math>L_i</math> (longitud).</p>
<p><math>Compacidad = V/A_t</math></p>	<p><b>Compacidad (en m)</b></p> <p>Cociente del volumen acondicionado dividido por el área de transferencia.</p> <p>El área de transferencia, se calcula:</p> $A_t = \sum_{\forall \text{muros exteriores}} A_i + \sum_{\forall \text{ventanas}} A_i + \sum_{\forall \text{cubiertas}} A_i + \sum_{\forall \text{suelos}} A_i$
<p><math>(altura)</math></p>	<p><b>Altura libre de los espacios (m)</b></p>
<p>GD</p>	<p><b>Grados- día de invierno en base 20 (o verano en base 25) de la localidad en el periodo considerado</b></p>
<p><math>renh</math></p>	<p><b>Renovaciones hora de ventilación y/o infiltración (h<sup>-1</sup>).</b></p> <p>El Anexo II explica con mayor detalle el significado de este parámetro (ventilación/infiltración) así como las principales hipótesis consideradas en su cálculo.</p>
<p><math>\rho</math></p>	<p><b>Densidad del aire</b></p> <p>Se toma igual a 1,2 kg/m<sup>3</sup>.</p>
<p><math>C_p</math></p>	<p><b>Calor específico del aire a presión constante</b></p> <p>Se toma igual a 1 kJ/kg K.</p>
<p><math>(g)</math></p>	<p><b>Factor solar medio de las ventanas (adimensional)</b></p>

<sup>10</sup> El anexo III incluye una explicación de cómo se han caracterizado los puentes térmicos para su uso en las correlaciones.

$\left(\frac{A_v}{A_a}\right)$	<b>Área de ventanas equivalente al sur dividida por el área acondicionada (adimensional)</b>
$(ASSE)$	<b>Área solar sur equivalente (adimensional)</b> Es la relación entre la radiación que reciben las ventanas en sus correspondientes orientaciones y con las sombras propias y/o lejanas que tengan, y la radiación que recibirían si estuvieran orientadas al sur sin ningún tipo de sombra. El anexo I explica con mayor detalle el significado de este parámetro (Área Solar) así como las principales hipótesis consideradas en su cálculo.
$I_s$	<b>Radiación global acumulada sobre superficie vertical con orientación sur en el periodo considerado (en kWh/m<sup>2</sup>)</b>
$\left(\frac{A_c}{A_a}\right)$	<b>Área de cubierta dividida por el área acondicionada (adimensional)</b>
$GD_{mod}$	<b>Grados día modificados de verano de la localidad calculados en base 25</b> Esta modificación consiste en el cálculo de los grados día a partir de las temperaturas sol-aire sobre cubierta en vez de a partir de la temperatura de aire.
$GD_{noche}$	<b>Grados día de verano de la localidad durante la noche (de 1h a 8h) calculados en base 25</b>
$SCI_{mes}$	<b>Severidad climática de invierno para el mes considerado</b>
$SCV_{mes}$	<b>Severidad climática de verano para el mes considerado</b>

Tabla 19 Coeficientes obtenidos para las variables del modelo de regresión múltiple de calefacción (por zona climática y tipología)

## Modelos de refrigeración

### PUNTO DE PARTIDA

Para la estimación de la demanda de refrigeración se ha optado por el desarrollo de una correlación que permite obtener la demanda para toda la vivienda en cada uno de los meses de verano por separado (junio, julio, agosto y septiembre).

Se ha seguido un procedimiento análogo al de la demanda de calefacción, para llegar al cálculo de la demanda estacional.

La ecuación que se propone para el cálculo de la demanda de refrigeración es la siguiente:

**Figura 4. Expresión para el cálculo de la demanda de refrigeración en un edificio según la norma UNE-EN-ISO 13790:2008.**

$$DR_{mes} = \left\{ \begin{array}{l} a_{mes} \cdot \left( \frac{Um\_sin\_cubierta}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + b_{mes} \cdot (Ucubierta) \cdot \left( \frac{Acubierta}{Aacondicionada} \right) \cdot GD_{mod\_cub_{mes}} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + d_{mes} \cdot (ventilación\_noche) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{noche_{mes}} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + e_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + f_{mes} \end{array} \right\}$$

siendo:

$$\begin{array}{l} a_{mes} = a_1 + a_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad b_{mes} = b_1 + b_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad c_{mes} = c_1 + c_2 \cdot SCV_{mes} \\ d_{mes} = d_1 + d_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad e_{mes} = e_1 + e_2 \cdot SCV_{mes} \quad \dots \quad f_{mes} = f_1 + f_2 \cdot SCV_{mes} \end{array}$$

Para facilitar el uso de la correlación en base estacional se tiene que:

**Figura 5. Ajuste de la anterior expresión para el cálculo de la demanda de refrigeración en base estacional.**

$$\begin{array}{l} a_{2,VER} = a_2 \cdot \frac{\sum_{\forall meses} GD_{mes} \cdot SCV_{mes}}{GD_{VER} \cdot SCV_{VER}} \quad \dots \quad b_{2,VER} = b_2 \cdot \frac{\sum_{\forall meses} GD_{mod\_cub_{mes}} \cdot SCV_{mes}}{GD_{mod\_cub_{VER}} \cdot SCV_{VER}} \\ c_{2,INV} = c_2 \cdot \frac{\sum_{\forall meses} GD_{mes} \cdot SCV_{mes}}{GD_{VER} \cdot SCV_{VER}} \quad \dots \quad d_{2,VER} = d_2 \cdot \frac{\sum_{\forall meses} GD_{noche_{mes}} \cdot SCV_{mes}}{GD_{noche_{VER}} \cdot SCV_{VER}} \\ e_{2,INV} = e_2 \cdot \frac{\sum_{\forall meses} Is_{mes} \cdot SCV_{mes}}{IS_{VER} \cdot SCV_{VER}} \quad \dots \quad f_{1,INV} = 4 \cdot f_{1,mes} \\ siendo: \quad GD_{VER} = \sum_{\forall meses} GD_{mes} \quad \dots \quad GD_{mod\_cub_{VER}} = \sum_{\forall meses} GD_{mod\_cub_{mes}} \\ GD_{noche_{VER}} = \sum_{\forall meses} GD_{noche_{mes}} \quad \dots \quad IS_{VER} = \sum_{\forall meses} Is_{mes} \quad \dots \quad SCV_{VER} = \sum_{\forall meses} SCV_{mes} \end{array}$$

La demanda de calefacción calculada con esta ecuación tiene un valor positivo, siendo el significado de cada término el siguiente:

- El primer término recoge la influencia del nivel de aislamiento del edificio, sin contar la cubierta, de su compacidad y del clima, a través de los grados-días. Tiene signo negativo porque contribuye a disminuir la demanda de refrigeración, aunque se observa que su influencia es muy pequeña.
- El segundo término recoge la influencia del nivel de aislamiento de la cubierta del edificio, y del clima, a través de los grados-días modificados. Tiene signo positivo porque contribuye a aumentar la demanda de refrigeración.

- El tercer término recoge la influencia de la ventilación y/o la infiltración del edificio durante las horas diurnas, y del clima, a través de los grados-días. Según la localidad puede tener signo positivo o negativo, pero en ambos casos su influencia es pequeña.
- El cuarto término recoge la influencia de la ventilación y/o la infiltración del edificio durante las horas nocturnas, y del clima, a través de los grados-días-noche. Tiene signo negativo porque contribuye a disminuir la demanda de refrigeración.
- El quinto término recoge la influencia del nivel de acristalamiento del edificio, y del clima, a través de la radiación solar. Tiene signo positivo porque contribuye a aumentar la demanda de refrigeración.
- En último lugar, se ha añadido un término independiente que recoge la influencia de todos los demás términos de los que depende la demanda de refrigeración, como las fuentes internas.

### **RESULTADO FINAL**

Para la realización del análisis regresivo multivariante se han realizado los siguientes supuestos:

- a) De conformidad con lo indicado en el documento reconocido: "Condiciones de Aceptación de Procedimientos Alternativos a LIDER y CALENER", todas las demandas mensuales de refrigeración inferiores a 1,5 kWh/m<sup>2</sup> se han considerado nulas. Por ello, en el procedimiento de obtención del modelo estacional de demanda de refrigeración, se han desestimado los casos con demandas de refrigeración inferiores a 6 kWh/m<sup>2</sup>. Este valor 6 se ha calculado como el producto de los 4 meses para los que existe demanda de refrigeración por el umbral mínimo a considerar, 1,5 kWh/m<sup>2</sup>.
- b) De igual manera, según lo indicado en el anexo I del documento reconocido de escala de calificación energética para edificios de nueva construcción, las demandas de refrigeración para las zonas climáticas C1, D1 y E1, se han considerado nulas.

Análogamente al caso de calefacción se han obtenido modelos específicos para cada zona climática y tipología, los cuales contienen las siguientes variables:

#### **Demanda Refrigeración =**

$$\begin{aligned} & a + b (\mathbf{Um \ sin \ cub/Compacidad}) * (\mathbf{alt}) * \mathbf{GD} * \mathbf{24/1000} \\ & + c (\mathbf{Uc}) * (\mathbf{Ac/Aa}) * \mathbf{GDmod} * (\mathbf{24/1000}) \\ & + d (\mathbf{renh}) * \mathbf{rho} * \mathbf{CP} * \mathbf{altura} * \mathbf{GD} * \mathbf{24/3600} \\ & + e (\mathbf{renhnoche}) * \mathbf{rho} * \mathbf{CP} * \mathbf{altur} * \mathbf{GD \ noche} * \mathbf{24/3600} \\ & + f (\mathbf{Av /Aa}) * \mathbf{g} * \mathbf{AS} * \mathbf{IS} \end{aligned}$$



Las variables consideradas en el modelo son comunes para todos los casos, si bien los coeficientes a, b, c, d, e y f que multiplican a cada una de ellas han debido ser ajustados para cada tipología y zona climática.

El significado y forma de cálculo de cada una de estas variables se indica a continuación:

<p>(Umsin cubierta)</p>	<p><b>Transmitancia térmica media dividida por la compacidad (en W/m<sup>3</sup> K).</b></p> <p>Um es la Transmitancia térmica media del edificio calculada a partir de las transmitancias de los elementos de la envuelta, incluidos puentes térmicos<sup>11</sup>.</p> $U_m = \frac{\sum_{\substack{\forall \text{muros} \\ \text{exteriores}}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{ventanas}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{suelos}} A_i U_i + \sum_{\forall \text{puentes térmicos}} L_i \Psi_i}{A_t}$ <p>Siendo <math>\Psi_i</math> (transmitancia térmica lineal de puente térmico i,y <math>L_i</math> (longitud)</p> <p>El área de transferencia, se calcula:</p> $A_t = \sum_{\substack{\forall \text{muros} \\ \text{exteriores}}} A_i + \sum_{\forall \text{ventanas}} A_i + \sum_{\forall \text{cubiertas}} A_i + \sum_{\forall \text{suelos}} A_i$
<p>Compacidad = <math>\left(\frac{V}{A_t}\right)</math></p>	<p><b>Compacidad (en m)</b></p> <p>Cociente del volumen acondicionado dividido por el área de transferencia.</p>
<p>(altura)</p>	<p><b>Altura libre de los espacios (m)</b></p>
<p>GD</p>	<p><b>Grados- día de invierno en base 20 (o verano en base 25) de la localidad en el periodo considerado</b></p>
<p>Uc</p>	<p><b>Transmitancia térmica de la cubierta</b></p>
<p><math>\left(\frac{Ac}{Aa}\right)</math></p>	<p><b>Área de cubierta dividida por el área acondicionada (adimensional)</b></p>
<p>GD<sub>mod</sub></p>	<p><b>Grados día modificados de verano de la localidad calculados en base 25</b></p> <p>Esta modificación consiste en el cálculo de los grados día a partir</p>

<sup>11</sup> El anexo V incluye una explicación de cómo se han caracterizado los puentes térmicos para su uso en las correlaciones.

	de las temperaturas sol-aire sobre cubierta en vez de a partir de la temperatura de aire.
$renh$ y $renhnoche$	<b>Renovaciones hora de ventilación y/o infiltración (<math>h^{-1}</math>)</b> El Anexo IV explica con mayor detalle el significado de estos parámetros así como las principales hipótesis consideradas en su cálculo.
$\rho$	<b>Densidad del aire</b> Se toma igual a $1,2 \text{ kg/m}^3$ .
$C_p$	<b>Calor específico del aire a presión constante</b> Se toma igual a $1 \text{ kJ/kg K}$ .
$GD_{noche}$	<b>Grados día de verano de la localidad durante la noche (de 1h a 8h) calculados en base 25</b>
$\left(\frac{A_v}{A_a}\right)$	<b>Área de ventanas equivalente al sur dividida por el área acondicionada (adimensional)</b>
$(g)$	<b>Factor solar medio de las ventanas (adimensional)</b>
$(AS)$	<b>Área solar</b> Radiación que reciben las ventanas en sus correspondientes orientaciones y con las sombras propias y/o lejanas que tengan. El anexo III explica con mayor detalle el significado de este parámetro (Área Solar) así como las principales hipótesis consideradas en su cálculo.
$I_s$	<b>Radiación global acumulada sobre superficie vertical con orientación sur en el periodo considerado en <math>\text{kWh/m}^2</math></b>

## **ANEXO III: PROCEDIMIENTO PARA LA OBTENCIÓN DE LAS PRESTACIONES MEDIAS ESTACIONALES DE EQUIPOS Y SISTEMAS DE PRODUCCIÓN DE FRÍO Y CALOR**

### **Introducción y metodología**

Las prestaciones medias estacionales de un sistema térmico no dependen exclusivamente de sí mismo (tipo y prestaciones nominales), sino que son función además del:

- Clima
- Edificio donde está instalado (que condiciona la carga parcial)
- Dimensionado (o más bien sobredimensionado) de su potencia

Puesto que estos tres elementos condicionan las prestaciones medias estacionales, su tipificación debe hacerse en principio para una familia de edificios concreta (tales como las viviendas unifamiliares, los bloques de viviendas ó edificios de uso terciario), para cada clima concreto y bajo unos escenarios concretos de dimensionado de la potencia punta.

Las prestaciones a las que se hace referencia en el documento son típicamente rendimientos cuando se trata de calderas, COP cuando se habla de bombas de calor funcionando en modo calefacción y EER para los equipos de producción de frío.

El presente apartado contiene un procedimiento para determinar las prestaciones medias estacionales de los equipos y sistemas de calefacción, refrigeración y producción de agua caliente sanitaria en edificios de viviendas y pequeños y medianos terciarios.

Este procedimiento ha sido aplicado a los equipos y sistemas que actualmente forman parte del programa de referencia CALENER-VYP y para las condiciones en que dichos equipos se contemplan en el estándar de cálculo del mencionado programa con objeto de determinar sus prestaciones medias estacionales y así poder utilizarlas directamente en el procedimiento simplificado de certificación energética de viviendas existentes.

### **Metodología para edificios de vivienda**

De forma general en el caso de edificios de vivienda, tanto en viviendas unifamiliares como en bloque, las prestaciones medias estacionales de un equipo o sistema se han calculado multiplicando sus prestaciones nominales por un factor denominado factor de ponderación representativo.

En el apartado 3.2 se describirá la metodología seguida para la obtención de dicho factor de ponderación. En el apartado 3.3 se describirá la integración de los factores de ponderación y su utilización en el procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios existentes de viviendas. De los resultados recopilados en este apartado se deduce que el factor de ponderación dependerá exclusivamente del tipo de sistema y de la zona climática.

## Integración de los factores de ponderación y su utilización en el procedimiento simplificado para certificación de eficiencia energética de edificios existentes de viviendas

Las tablas de factores de ponderación a usar en el procedimiento para viviendas existentes que cumplan con las exigencias del CTE-HE1 son las siguientes:

**T<sub>sis</sub> Ce3\_SV 1. Factores de ponderación para sistemas de calefacción y mixtos basados en calderas de combustión.**

Caldera calefacción combustión estándar	0.97
Caldera calefacción combustión baja temperatura	1.00
Caldera calefacción combustión de condensación	1.08
Caldera calefacción combustión de biomasa	0.74
Caldera mixta combustión estándar	0.98
Caldera mixta combustión baja temperatura	1.00
Caldera mixta combustión de condensación	1.06
Caldera mixta combustión de biomasa	0.76

Tabla 20 Factores de ponderación para sistemas de calefacción de calderas

**T<sub>sis</sub> Ce3\_SV 2. Factores de ponderación para sistemas de agua caliente sanitaria.**

Caldera ACS combustión estándar	0.93
Caldera ACS eléctrica	1.00
Caldera mixta combustión estándar	0.98
Caldera mixta combustión baja temperatura	1.00
Caldera mixta combustión de condensación	1.06
Caldera mixta combustión de biomasa	0.76

Tabla 21 Factores de ponderación para sistemas de ACS

**T<sub>sis</sub> Ce3\_SV 3. Factores de ponderación para sistemas de calefacción por bomba de calor**

	Zona Climática		
	A	B	C
Equipos centralizados (viviendas unifamiliares)	0.80	0.72	
Equipos centralizados (viviendas en bloque)	0.80	0.79	
Equipos individuales tipo split (viviendas individuales y viviendas en bloque)	0.65	0.65	

Tabla 22 Factores de ponderación para sistemas de calefacción de calderas

**T<sub>sis</sub> Ce3\_SV 4. Factores de ponderación para sistemas de refrigeración**

	Zona Climática	
	3	4
Equipos centralizados (viviendas unifamiliares)	0.85	0.79
Equipos centralizados (viviendas en bloque)	0.94	0.89
Equipos individuales tipo split (viviendas individuales y viviendas en bloque)	0.72	0.77

Tabla 23 Factores de ponderación para sistemas de refrigeración

En el caso de viviendas construidas con anterioridad a la entrada en vigor del CTE se usarían los mismos valores con las siguientes excepciones:

- En el caso de equipos centralizados de calefacción, los factores de ponderación se multiplicarán por un factor de **1.075**.
- En el caso de equipos centralizados de refrigeración en viviendas unifamiliares, los factores de ponderación se multiplicarán por un factor de **1.04**.

### Dominio de aplicación

Los valores anteriores son válidos para los sistemas explícitamente mencionados en las tablas y para buenas prácticas de dimensionado de los equipos.

## Tablas de obtención del IEE a partir de los rendimientos medios

Para obtener el indicador de eficiencia energética (IEE) de un sistema es necesario entrar en las siguientes tablas mediante su rendimiento medio estacional. Dicho rendimiento medio se obtiene multiplicando el rendimiento nominal del sistema por un factor de ponderación que se obtendrá en función del tipo de sistema y combustible utilizado por el mismo.

### 1. Sistemas de calefacción:

Bombas de calor

COP medio estacional	IEE sist elect	IEE sist elect
	peninsular	Extra-peninsular
3.30	0.61	0.78
3.20	0.63	0.81
3.10	0.65	0.83
3.00	0.68	0.86
2.90	0.70	0.89
2.80	0.72	0.92
2.70	0.75	0.96
2.60	0.78	0.99
2.50	0.81	1.03
2.40	0.85	1.08
2.30	0.88	1.12
2.20	0.92	1.17
2.10	0.97	1.23
2.00	1.01	1.29
1.90	1.07	1.36
1.80	1.13	1.43
1.70	1.19	1.52
1.60	1.27	1.61
1.50	1.35	1.72
1.40	1.45	1.84
1.30	1.56	1.99

Tabla 24 Sistemas de calefacción

Calderas:

	Peninsular			Extrapeninsular		
$\eta$ medio	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas
estacional	Gas Natural	Gasoleo C	GLP	Gas Natural	Gasóleo C	GLP
1.10	0.58	0.82	0.69	0.49	0.69	0.58
1.05	0.61	0.85	0.73	0.51	0.72	0.61
1.00	0.64	0.90	0.76	0.54	0.76	0.64
0.95	0.67	0.94	0.80	0.57	0.80	0.68
0.90	0.71	1.00	0.85	0.60	0.84	0.71
0.85	0.75	1.06	0.90	0.63	0.89	0.76
0.80	0.80	1.12	0.95	0.67	0.94	0.80
0.75	0.85	1.20	1.02	0.72	1.01	0.86
0.70	0.91	1.28	1.09	0.77	1.08	0.92
0.65	0.98	1.38	1.17	0.83	1.16	0.99
0.60	1.06	1.49	1.27	0.89	1.26	1.07

Tabla 25 Sistemas de calefacción

**Sistemas de refrigeración:**

Bomba de calor:

EER medio	IEE sist elect	IEE sist elect
estacional	peninsular	extra-peninsular
3.30	0.79	0.78
3.20	0.81	0.81
3.10	0.84	0.83
3.00	0.87	0.86
2.90	0.90	0.89
2.80	0.93	0.92
2.70	0.96	0.96
2.60	1.00	0.99
2.50	1.04	1.03

2.40	1.08	1.08
2.30	1.13	1.12
2.20	1.18	1.17
2.10	1.24	1.23
2.00	1.30	1.29
1.90	1.37	1.36
1.80	1.44	1.43
1.70	1.53	1.52
1.60	1.62	1.61
1.50	1.73	1.72
1.40	1.85	1.84
1.30	2.00	1.99

Tabla 26 Sistemas de refrigeración

### Sistemas de agua caliente sanitaria:

Calderas de combustión:

	Peninsular			Extrapeninsular		
$\eta$ medio	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas	IEE Calderas
estacional	Gas Natural	Gasóleo C	GLP	Gas Natural	Gasóleo C	GLP
1.10	0.49	0.69	0.58	0.41	0.58	0.49
1.05	0.51	0.72	0.61	0.43	0.61	0.52
1.00	0.54	0.76	0.64	0.45	0.64	0.54
0.95	0.57	0.80	0.68	0.48	0.67	0.57
0.90	0.60	0.84	0.71	0.50	0.71	0.60
0.85	0.63	0.89	0.76	0.53	0.75	0.64
0.80	0.67	0.94	0.80	0.57	0.80	0.68
0.75	0.72	1.01	0.86	0.60	0.85	0.72
0.70	0.77	1.08	0.92	0.65	0.91	0.77
0.65	0.83	1.16	0.99	0.70	0.98	0.83
0.60	0.89	1.26	1.07	0.76	1.06	0.90

Tabla 27 Sistemas de agua caliente sanitaria



Calderas eléctricas:

$\eta$ medio estacional	IEE Calderas	IEE Calderas
	Elect Peninsular	Elect Peninsular      Extra-
1.00	1.44	2.18
0.95	1.52	2.29
0.90	1.60	2.42

Tabla 28 Sistemas de agua caliente sanitaria

En viviendas de protección oficial en Andalucía, es habitual no instalar sistemas de calefacción ni refrigeración, en este caso los valores del indicador de eficiencia energética que se deberían tomar serían los siguientes:

1. Sistemas de calefacción: 1.20
2. Sistemas de refrigeración: 1.07

## ANEXO IV: VALIDACIÓN DEL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DE CERTIFICACIÓN ENERGÉTICA DE EDIFICIOS DE VIVIENDAS DE NUEVA PLANTA CE2.

Se asume la validación del procedimiento simplificado Ce2 en todos los casos en los que se emplean las soluciones contempladas en los procedimientos generales.

Se incluye una comparación en términos de valores globales de las demandas y de los IEE de demanda de calefacción y de demanda de refrigeración. Para cada clase de eficiencia reivindicada según el procedimiento simplificado propuesto, cuál es la clase de eficiencia real que obtienen dichos edificios.

Valores globales: Comparación en términos de Clase de Eficiencia

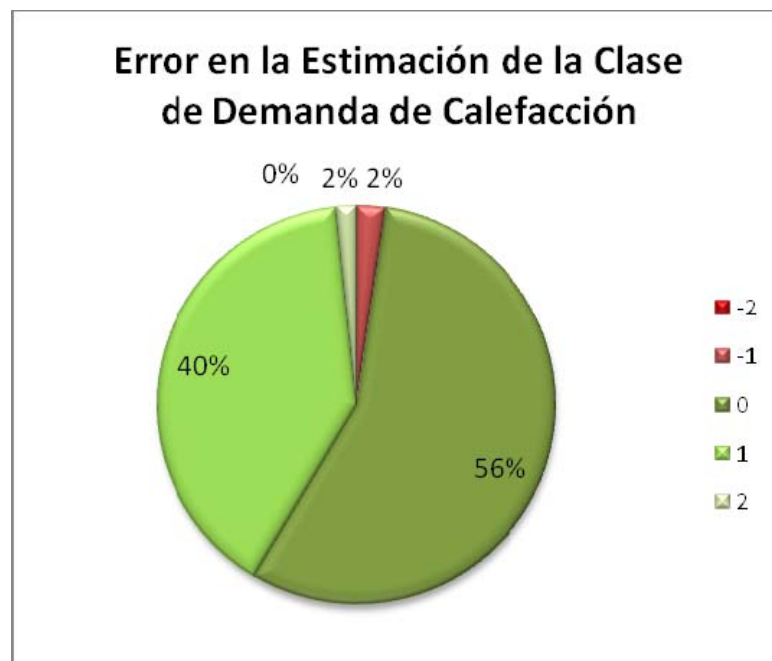


Ilustración 12 Error en la estimación de Clase de Demanda de Calefacción

Es decir, para régimen de calefacción:

- El 56% de las veces la clase realmente obtenida coincide con la reivindicada.
- El 40% de las veces la clase realmente obtenida es una letra mejor que la clase reivindicada.
- El 2% de las veces la clase realmente obtenida es dos letras mejor que la clase reivindicada.
- El 2% de las veces la clase realmente obtenida es una letra PEOR que la clase reivindicada

Valores globales: Comparación en términos de Clase de Eficiencia

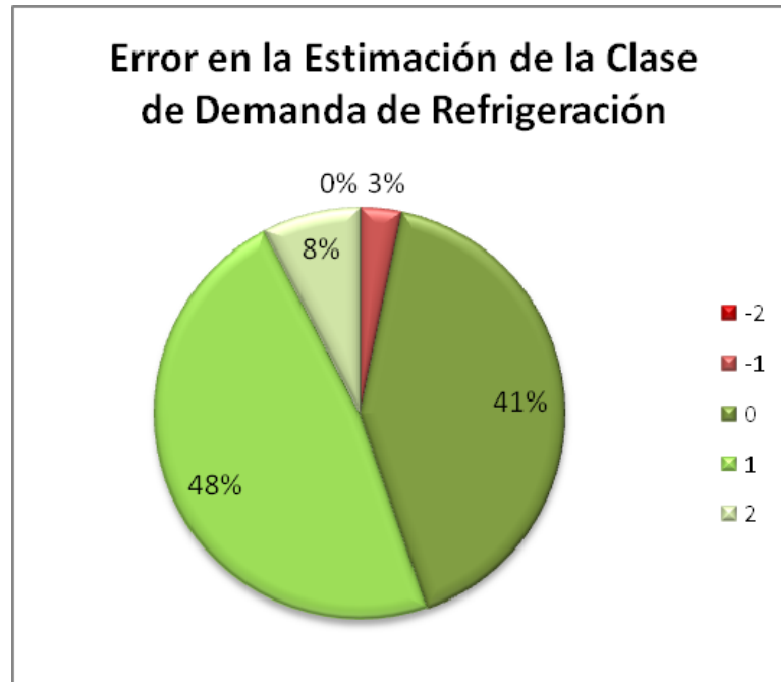


Ilustración 13 Error en la estimación de Clase de Demanda de Refrigeración

Es decir, para régimen de refrigeración:

- El 41% de las veces la clase realmente obtenida coincide con la reivindicada.
- El 48% de las veces la clase realmente obtenida es una letra mejor que la clase reivindicada.
- El 8% de las veces la clase realmente obtenida es dos letras mejor que la clase reivindicada.
- El 3% de las veces la clase realmente obtenida es una letra PEOR que la clase reivindicada.

En cualquier caso, se recuerda el efecto de compensación estadística que se origina cuando se ponen en conjunción los seis indicadores que hacen falta para componer el indicador global. El carácter conservador de cada uno de los seis intermedios hace que, para el Indicador de Eficiencia Global, sea estadísticamente insignificante la probabilidad de que la clase realmente obtenida sea peor que la clase reivindicada.

## ANEXO V: DESCRIPCIÓN DE LOS MECANISMOS DE INSERCIÓN DE ELEMENTOS ESPECIALES EN LA METODOLOGÍA EN QUE SE FUNDAMENTA EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO

### Inclusión de soluciones de cerramientos especiales: muro Solar y muro Trombe

La inclusión de soluciones constructivas especiales en los procedimientos actuales es compleja, ya que para que puedan aplicarse en procedimientos simplificados deben estar integradas en los procedimientos generales de certificación (Programas CALENER) a los que sí se les pueden añadir soluciones especiales mediante la aprobación de implementación de éstos en un documento reconocido de solicitud de soluciones especiales (capacidades adicionales)

Sin embargo, eso no significa que el incluir estas soluciones en los actuales procedimientos simplificados sea de gran complejidad, como ahora veremos.

Analizando la física del comportamiento energético de estas innovadoras tipologías constructivas, podemos decir que, al ser cerramientos con una cámara de aire tras una hoja de vidrio, poseen unas mayores ganancias solares a la vez que se amortiguan la temperatura exterior para la hoja opaca interior, por lo que ésta también tendrá menores pérdidas. Esta complementariedad hace de estos cerramientos unas interesantes propuestas en las medidas pasivas de la arquitectura energéticamente eficiente.

Si este comportamiento lo trasladamos a la matemática para valorar la mejora que supone la construcción de dichos elementos, se puede decir que:

$$Mejora = 1 - \frac{Gan(MuroSolar) - Perd(MuroSolar)}{Gan(MuroCTE) - Perd(MuroCTE)}$$

$$Mejora = 1 - \frac{Gan(MuroSolar) - Perd(MuroSolar)}{-Perd(MuroCTE)}$$

$$Mejora = 1 - \frac{As_{muro\_solar} \cdot I - U_{muro\_solar} \cdot GD}{-U_{cte} \cdot GD}$$

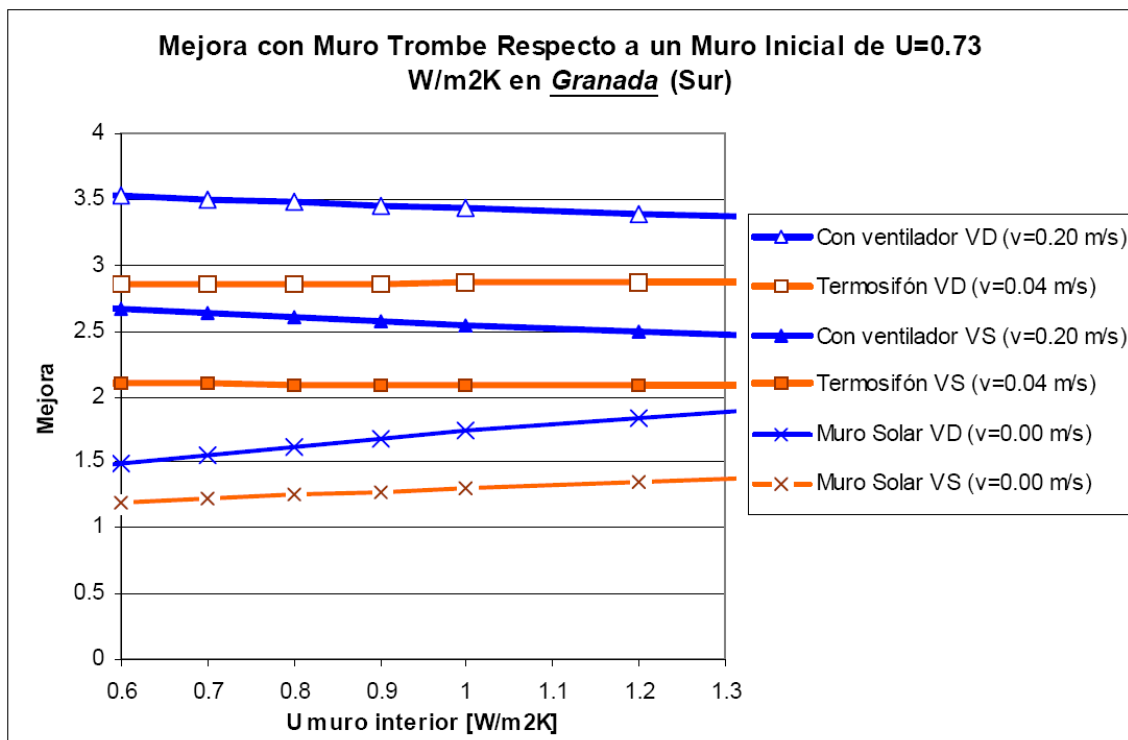
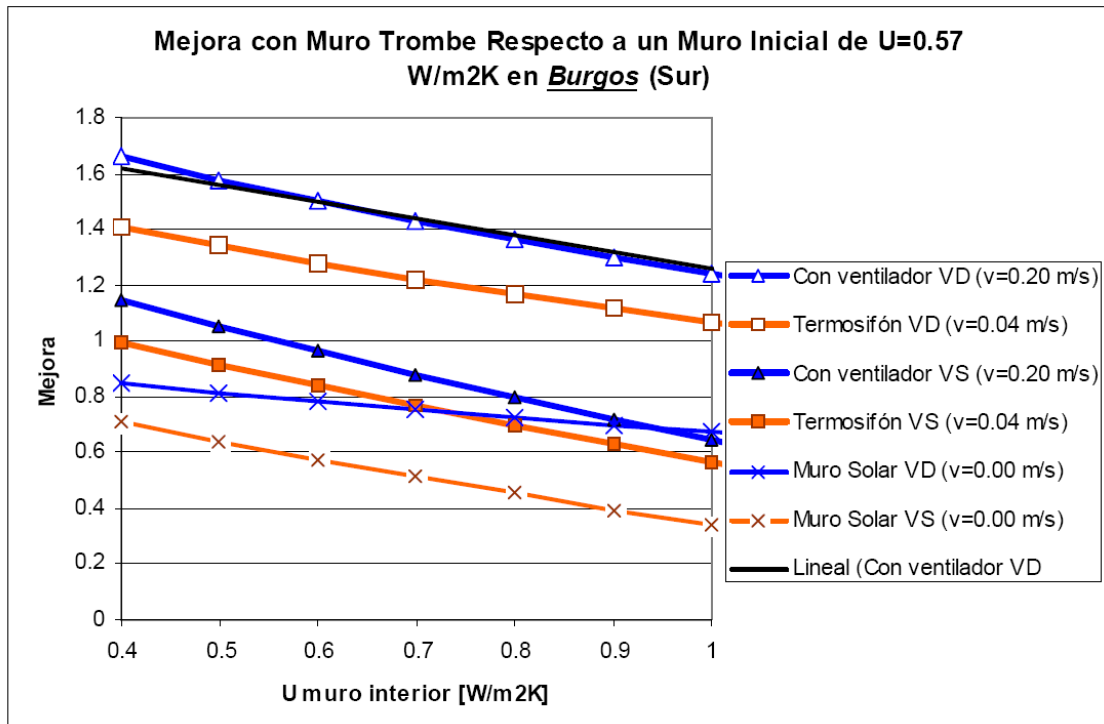
$$Mejora = 1 - \frac{As_{muro\_solar} \cdot I - U_{muro\_solar} \cdot GD}{-U_{cte} \cdot GD}$$

$$Mejora = 1 - \frac{-Perd(MuroCorregido)}{-Perd(MuroCTE)} = 1 - \frac{-U_{muro\_corregido} \cdot GD}{-U_{cte} \cdot GD}$$

$$Mejora = 1 - \frac{U_{muro\_corregido}}{U_{cte}}$$

$$U_{muro\_corregido} = (1 - Mejora) \cdot U_{cte}$$

Por tanto, podemos sustituir cualquier superficie de cerramientos al Sur por una transmitancia equivalente igual a U de muro corregido. Se muestran a continuación las graficas de mejoras obtenidas para las principales capitales de provincia de cada zona climática incluida en el procedimiento propuesto por esta tesis.



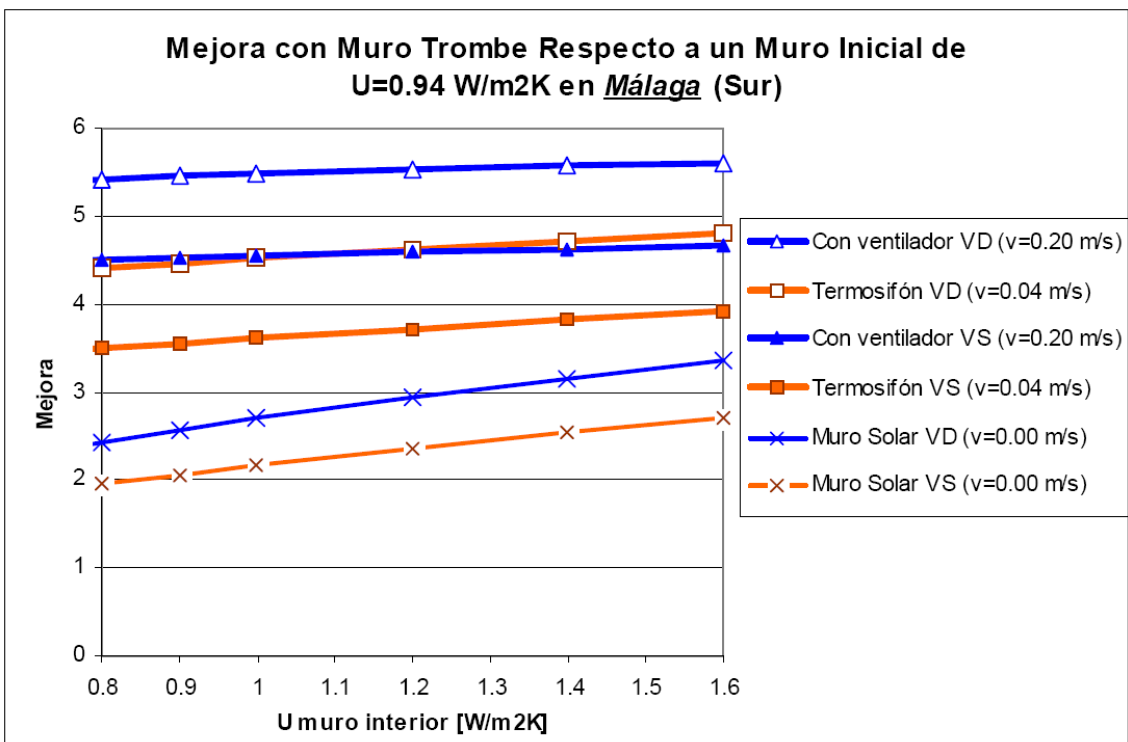
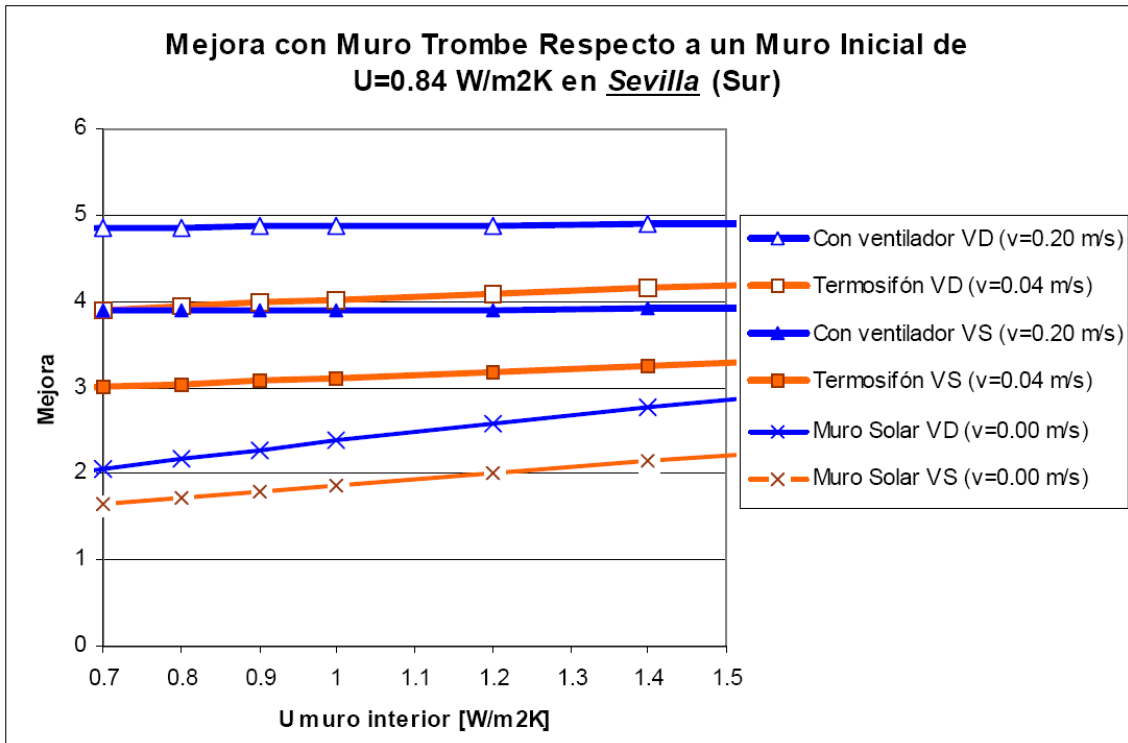


Ilustración 14 Gráficos de Mejora de Transmitancia térmica de fachadas con muros trombe

Así, se genera una tabla donde se ha calculado la transmitancia térmica equivalente de cada una de las soluciones en cada zona climática, como ahora vemos:

POSICION		BASE	MURO TROMBE con ventilador			
localidad	zc	Ucte	mejora vidrio simple	mejora vidrio doble	Ucorregido simple	Ucorregido doble
malaga	A3	0,94	4,5	5,5	-3,29	-4,23
sevilla	B4	0,82	3,6	4,5	-2,132	-2,87
granada	C3	0,73	2,6	3,5	-1,168	-1,825
madrid	D3	0,66	1,8	2,27	-0,528	-0,8382
burgos	E1	0,57	1	1,52	0	-0,2964

POSICION		BASE	MURO SOLAR			
localidad	zc	Ucte	mejora vidrio simple	mejora vidrio doble	Ucorregido simple	Ucorregido doble
malaga	A3	0,94	2,1	2,6	-1,034	-1,504
sevilla	B4	0,82	1,75	2,25	-0,615	-1,025
granada	C3	0,73	1,25	1,55	-0,1825	-0,4015
madrid	D3	0,66	0,9	1,2	0,066	-0,132
burgos	E1	0,57	0,55	0,75	0,2565	0,1425

Tabla 29 Mejora de Transmitancia térmica de fachadas con muros trombe y muro solar

A continuación se ha analizado la repercusión de estas mejoras de las transmitancias térmicas de una fachada frente a la promedia del edificio según la posición en la manzana de éste, anteriormente descritas:

Se considera para el cálculo que estos muros ocupan sólo las bandas continuas verticales entre ventanas del área total de la fachada Sur (un 80%), como muestra el gráfico.



Área de cálculo de fachadas con soluciones especiales.

Edificios Exentos / Aisladas (4 fachadas)

			MURO SOLAR		MURO TROMBE con ventilador	
			Upromedio muros		Upromedio muros	
Zonas Climáticas		Ubase	Vidrio simple	vidrio doble	Vidrio simple	vidrio doble
malaga	A	0,94	0,55	0,45	0,09	-0,09
sevilla	B	0,82	0,53	0,45	0,23	0,08
granada	C	0,73	0,55	0,50	0,35	0,22
madrid	D	0,66	0,54	0,50	0,42	0,36
burgos	E	0,57	0,51	0,48	0,46	0,40

Edificios de Cabecera (3 fachadas)

			MURO SOLAR		MURO TROMBE con ventilador	
			Upromedio muros		Upromedio muros	
Zonas Climáticas		Ubase	Vidrio simple	vidrio doble	Vidrio simple	vidrio doble
malaga	A3	0,94	0,41	0,29	-0,19	-0,44
sevilla	B4	0,82	0,44	0,33	0,03	-0,16
granada	C3	0,73	0,49	0,43	0,22	0,05
madrid	D3	0,66	0,50	0,45	0,34	0,26
burgos	E1	0,57	0,49	0,46	0,42	0,34

Edificios Pareados (2 fachadas)

			MURO SOLAR		MURO TROMBE con ventilador	
			Upromedio muros		Upromedio muros	
Zonas Climáticas		Ubase	Vidrio simple	vidrio doble	Vidrio simple	vidrio doble
malaga	A3	0,94	0,15	-0,04	-0,75	-1,13
sevilla	B4	0,82	0,25	0,08	-0,36	-0,66
granada	C3	0,73	0,37	0,28	-0,03	-0,29
madrid	D3	0,66	0,42	0,34	0,18	0,06
burgos	E1	0,57	0,44	0,40	0,34	0,22

Edificios Adosados (1 fachada)

			MURO SOLAR		MURO TROMBE con ventilador	
			Upromedio muros		Upromedio muros	
Zonas Climáticas		Ubase	Vidrio simple	vidrio doble	Vidrio simple	vidrio doble
malaga	A3	0,94	-0,64	-1,02	-2,44	-3,20
sevilla	B4	0,82	-0,33	-0,66	-1,54	-2,13
granada	C3	0,73	0,00	-0,18	-0,79	-1,31
madrid	D3	0,66	0,18	0,03	-0,29	-0,54
burgos	E1	0,57	0,32	0,23	0,11	-0,12

Tabla 30 Mejora de Transmitancia térmica de fachadas con muros trombe y muro solar según tipología de edificio según su posición en la parcela

Como se observa, las mejoras de las transmitancias son muy representativas, llegando en algunos casos a obtener una transmitancia de cero kWh/m<sup>2</sup> e incluso a valores negativos, por lo que la influencia en la energética global del edificio será muy considerable; sin embargo, para otras zonas térmicas, la transmitancia obtenida es técnicamente viable mediante soluciones tradicionales, por lo que es de especial interés también el análisis y la comparación de los sobrecostos asociados.



## Inclusión de soluciones de Ventilación Nocturna

Hasta ahora, y como ya se ha comentado, el actual procedimiento general para la calificación energética de edificios recoge la influencia de la ventilación nocturna como una constante en la demanda de refrigeración que el usuario no puede modificar, 4 renovaciones/hora, y que se sabe a ciencia cierta que un aumento de éstas mediante ventilación mecánica contralada serían muy beneficiosas, pero sin saber cuánto, ya que nunca se han analizado explícitamente las mejoras producidas por la ventilación nocturna.

$$DR_{mes} = \left\{ \begin{array}{l} a_{mes} \cdot \left( \frac{Um_{sin\_cubierta}}{V/At} \right) \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + b_{mes} \cdot (U_{cubierta}) \cdot \left( \frac{Acubierta}{Aacondicionada} \right) \cdot GD_{mod\_cub_{mes}} \cdot \frac{24}{1000} + \\ + c_{mes} \cdot (ventilación) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{mes} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + d_{mes} \cdot (ventilación\_noche) \cdot \rho \cdot Cp \cdot (altura) \cdot GD_{noche_{mes}} \cdot \frac{24}{3600} + \\ + e_{mes} \cdot \left( \frac{Av}{Aa} \right) \cdot g \cdot ASSE \cdot Is_{mes} + f_{mes} \end{array} \right\}$$

El actual procedimiento simplificado para la calificación energética de edificios recoge la influencia de la ventilación nocturna como una constante en la demanda de refrigeración, como muestra la siguiente ecuación:

$$IEE_{DR} = 0,47 + \sum IEE_{SE/E/O/SO} + \sum \Delta IEE_{Sur}$$

Si se toma una amplia muestra de edificios y se calculan cada uno de ellos con una ventilación nocturna de 4 renovaciones/hora, 6 renovaciones/hora, 8 renovaciones/hora y 10 renovaciones/hora (fácilmente asumibles para una ventilación mecánica) y analizamos las variaciones en las medias de las demandas de refrigeración, se puede obtener una propuesta de variación para el término constante de la ecuación anterior, como relación directa entre las demandas de refrigeración obtenidas que rigen la distribución de los puntos resultantes.

Para el cálculo es necesario fijar los parámetros de la envuelta térmica, sus huecos y las protecciones solares de estos, y sólo modificar los rangos de ventilación nocturna.

Al no modificar ningún término de la ecuación que no sea el de ventilación nocturna, del que depende la constante de la ecuación de obtención del Índice de Eficiencia Energética de Demanda de Refrigeración del procedimiento simplificado Ce2, sabemos que la variación de demandas de refrigeración resultantes es directamente proporcional al término constante de la ecuación.

Así, obtenemos que la influencia de la ventilación nocturna sobre el término constante de la ecuación del procedimiento simplificado pueda ir variando de la siguiente forma:

<b>Renovaciones / Hora (ventilación nocturna)</b>	<b>Demanda de Refrigeración media obtenida</b>	<b>Constante resultante</b>
4	11,79 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,47</b>
6	10,64 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,42</b>
8	9,10 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,36</b>
10	8,44 kWh/m <sup>2</sup>	<b>0,33</b>

Tabla 31 Variación de la Constante en función de la Ventilación Nocturna

## ANEXO VI: BASE DE DATOS DE PRECIOS DE MATERIALES Y DE LA ENERGÍA

### Aislamiento en cerramientos opacos

#### *Aislamiento en muros*

El precio promedio de construcción de un muro se puede expresar en función de su resistencia térmica de la siguiente forma:

$$\text{Precio promedio muros (€m}^2\text{)} = 2.7325 \cdot R_T + 2.004$$

Donde  $R_T$  es la resistencia térmica del muro expresada en  $\text{m}^2\text{K/W}$

Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Sobrecoste muros (€m}^2\text{)} = 2.7325 \cdot \Delta R_T$$

Siendo  $\Delta R_T$  el incremento de resistencia térmica del muro que, a su vez, se puede expresar en función del incremento de transmitancia térmica del muro,  $\Delta U$ , de la siguiente forma:

$$\Delta R_T = \frac{1}{U_{\text{con aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}} = \frac{1}{\Delta U + U_{\text{sin aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}}$$

#### *Aislamiento en cubiertas*

El precio promedio de construcción de una cubierta se puede expresar en función de su resistencia térmica de la siguiente forma:

$$\text{Precio promedio cubiertas (€m}^2\text{)} = 1.7019 \cdot R_T + 1.9488$$

Donde  $R_T$  es la resistencia térmica de la cubierta expresada en  $\text{m}^2\text{K/W}$

Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Sobrecoste cubiertas (€m}^2\text{)} = 1.7019 \cdot \Delta R_T$$

Siendo  $\Delta R_T$  el incremento de resistencia térmica de la cubierta, que, a su vez se puede expresar en función del incremento de transmitancia térmica de la cubierta,  $\Delta U$ , de la siguiente forma:

$$\Delta R_T = \frac{1}{U_{\text{con aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}} = \frac{1}{\Delta U + U_{\text{sin aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}}$$

### *Aislamiento en suelos*

El precio promedio de construcción de un suelo se puede expresar en función de su resistencia térmica de la siguiente forma:

$$\text{Precio promedio suelos } (\text{€m}^2) = 4.135 \cdot R_T + 2.38$$

Donde  $R_T$  es la resistencia térmica del suelo expresada en  $\text{m}^2\text{K/W}$

Por lo tanto, se tiene que:

$$\text{Sobrecoste suelos } (\text{€m}^2) = 4.135 \cdot \Delta R_T$$

Siendo  $\Delta R_T$  el incremento de resistencia térmica del suelo, que, a su vez se puede expresar en función del incremento de transmitancia térmica del suelo,  $\Delta U$ , de la siguiente forma:

$$\Delta R_T = \frac{1}{U_{\text{con aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}} = \frac{1}{\Delta U + U_{\text{sin aisl.}}} - \frac{1}{U_{\text{sin aisl.}}}$$

## **Base de datos de ventanas**

La base de datos de ventanas utilizada para el estudio se ha obtenido de datos proporcionados por Saint-Gobain.

Se combinan diferentes vidrios con diferentes marcos, y con tres posibles permeabilidades.

Tipo	U (W/m <sup>2</sup> K)	g	permeabilidad	Precio €/m <sup>2</sup> ventanas
vidrio simple marco metálico	5,7	0,85	50,00	212,00
doble marco metálico srpt permeabilidad alta	3,9	0,75	50,00	220,00
doble marco metálico srpt permeabilidad media	3,9	0,75	27,00	257,00
doble bajo emisivo permeabilidad alta	3,0	0,75	50,00	228,00
doble bajo emisivo permeabilidad media	3,0	0,75	27,00	265,00
doble bajo emisivo permeabilidad alta	1,9	0,66	50,00	231,00
doble bajo emisivo permeabilidad media	1,9	0,66	27,00	268,00
doble bajo emisivo permeabilidad media APT	1,7	0,66	27,00	268,00
doble bajo emisivo permeabilidad baja APT	1,7	0,66	9,00	335,00

<b>doble bajo emisivo permeabilidad alta APT</b>	1,35	0,63	27,00	268,00
<b>doble bajo emisivo permeabilidad media APT</b>	1,35	0,63	9,00	339,00

Tabla 32 Base de datos de Ventanas

A partir de esta base de datos, y para facilitar el procedimiento de búsqueda del óptimo, se ha buscado una correlación para obtener el precio en función de la transmitancia térmica,  $U$ , y de la permeabilidad, llegándose a una correlación de  $R^2 = 0.9985$ :

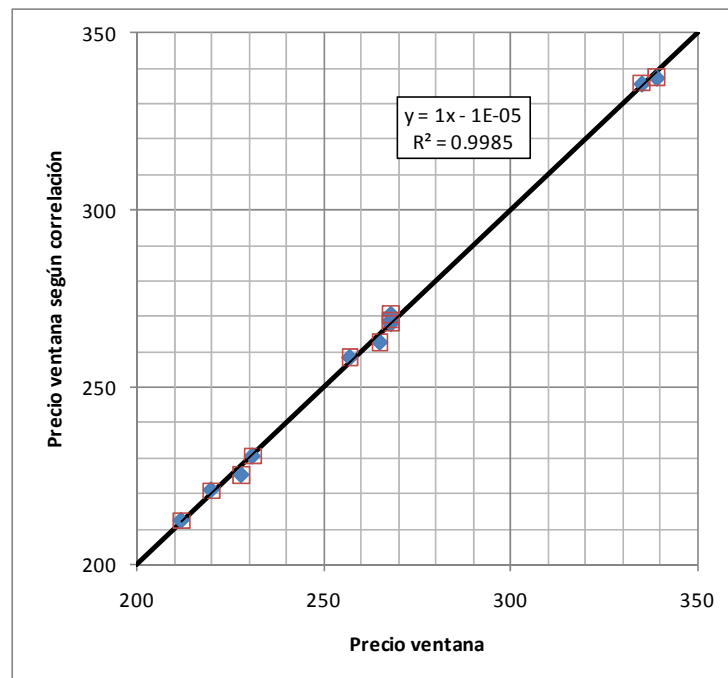
$$\text{precio} = a * (U) + b * \text{LN(permeabilidad)} + c$$

siendo:

$$a = -4.7911$$

$$b = -60.8277$$

$$c = 477.5797$$



## 2. Validez de la correlación para el precio de la ventana.

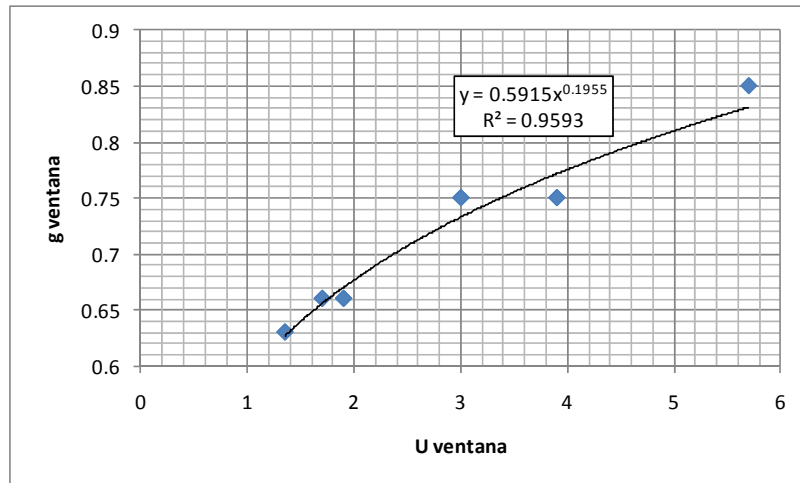
Por otra parte, también se ha buscado una correlación para obtener el  $g$  de la ventana en función del  $U$ :

$$g = a * U^b$$

siendo:

$$a = 0.5915$$

$$b = 0.1955$$



## Coste de operación

El precio del Gasoleo C empelado para los cálculos es de 0.077€/kWh.

## ANEXO VII: CÁLCULO DEL VAN (VALOR ACTUAL NETO)

### Definición del Valor Actual Neto, VAN.

Valor actual neto procede de la expresión inglesa *Net Present Value*. El acrónimo es NPV en inglés y VAN en español. Es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual (actualizar mediante una tasa) todos los flujos de caja futuros del proyecto. A este valor se le resta la inversión inicial, de tal modo que el valor obtenido es el valor actual neto del proyecto.

La fórmula que nos permite calcular el Valor Actual Neto es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Siendo:

$V_t$  representa los flujos de caja en cada periodo t.

$I_0$  es el valor del desembolso inicial de la inversión.

$n$  es el número de períodos considerado.

$k$  es el tipo de interés.

Si el proyecto no tiene riesgo, se tomará como referencia el tipo de la renta fija, de tal manera que con el *VAN* se estimará si la inversión es mejor que invertir en algo seguro, sin riesgo específico. En otros casos, se utilizará el coste de oportunidad.

Cuando el *VAN* toma un valor igual a 0,  $k$  pasa a llamarse *TIR* (tasa interna de retorno). La *TIR* es la rentabilidad que nos está proporcionando el proyecto.

Valor	Significado	Decisión a tomar
<b><math>VAN &gt; 0</math></b>	La inversión produciría ganancias por encima de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto puede aceptarse
<b><math>VAN &lt; 0</math></b>	La inversión produciría pérdidas por debajo de la rentabilidad exigida (r)	El proyecto debería rechazarse
<b><math>VAN = 0</math></b>	La inversión no produciría ni ganancias ni pérdidas dado que el proyecto no agrega valor monetario por encima de la rentabilidad exigida (r)	La decisión debería basarse en otros criterios, como la obtención de un mejor posicionamiento en el mercado u otros factores.

## Hipótesis para el cálculo del VAN.

Para el presente estudio necesitamos calcular:

- El flujo de caja en cada periodo,  $V_t$ , que se calculará como el ahorro en el consumo de energía final tomando como base la situación inicial dada por el CTE-HE1. Es necesario conocer el flujo de caja, o ahorro, inicial, y la evolución de este flujo de caja a lo largo del periodo considerado, es decir, hay que estimar la evolución de los precios de la energía.
- La inversión inicial,  $I_0$ , que se considerará igual al incremento del coste de la alternativa propuesta sobre la situación inicial dada por el CTE-HE1.
- El número de años considerado,  $n$ , que se tomará igual a 30 años.
- También habrá que estimar la evolución del tipo de interés,  $k$ .

*Hipótesis 1: el precio de la energía no aumenta.*

Si el precio de la energía no aumentase a lo largo del periodo considerado, el VAN puede calcularse como sigue:

$$VAN = R \cdot \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+k)^t} - I_0$$

Siendo:

$R$  los flujos de caja constantes.

Donde el sumatorio se puede simplificar:

$$Sn = \sum_{t=1}^n \frac{1}{(1+k)^t} = \frac{1}{(1+k)} + \frac{1}{(1+k)^2} + \dots + \frac{1}{(1+k)^n}$$

$$\frac{1}{(1+k)} \cdot Sn = \frac{1}{(1+k)^2} + \dots + \frac{1}{(1+k)^{n+1}}$$

$$\left( \frac{1+k-1}{(1+k)} \right) \cdot Sn = \frac{1}{(1+k)} - \frac{1}{(1+k)^{n+1}} \Rightarrow Sn = \frac{1-(1+k)^{-n}}{k}$$

Quedando:

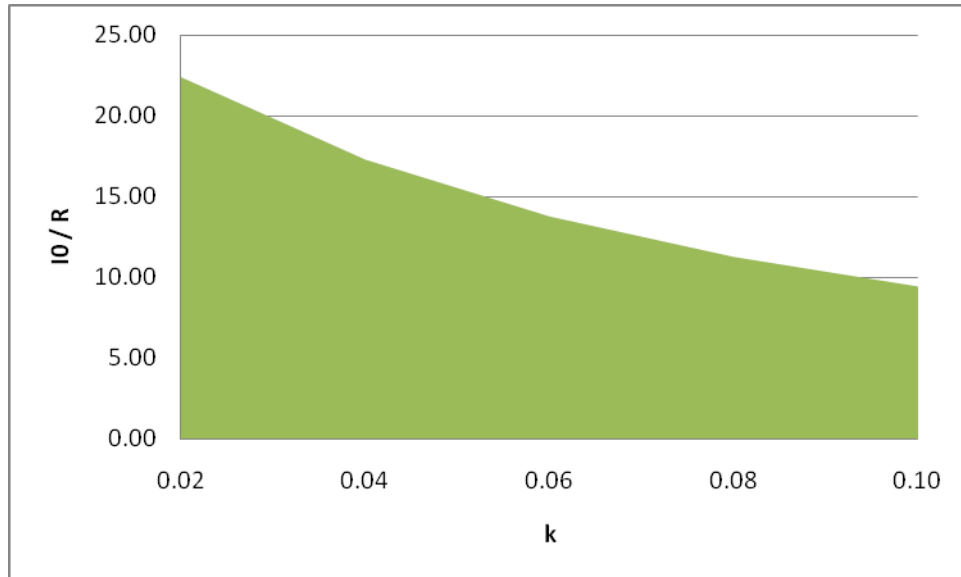
$$VAN = R \cdot \frac{(1-(1+k)^{-n})}{k} - I_0$$

El valor límite de rentabilidad se tiene para  $VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = \frac{(1-(1+k)^{-n})}{k}$

A modo de ejemplo, si  $n = 30$



$k$	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10
$I_0/R$	22.40	17.29	13.76	11.26	9.43



Los valores anteriores suponen un límite superior para poder considerar que la inversión ha sido rentable, es decir, que para valores del ratio  $I_0/R$  inferiores a los anteriores, se tendría que la inversión ha sido rentable

*Hipótesis 2: el precio de la energía aumenta al mismo ritmo que el tipo de interés.*

Si el precio de la energía aumentase al mismo ritmo que el tipo de interés, entonces:  
 $V_t = R \cdot (1+k)^t$

Por lo que el VAN puede calcularse como sigue:

$$VAN = R \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+k)^t}{(1+k)^t} - I_0 \Rightarrow VAN = nR - I_0$$

El valor límite de rentabilidad se tiene para  $VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = n$

A modo de ejemplo, si  $n = 30$ , entonces  $\frac{I_0}{R} = 30$

*Hipótesis 3: el precio de la energía aumenta más que el tipo de interés.*

Si el precio de la energía aumentase a mayor ritmo que el tipo de interés, entonces, se podría expresar como:

$$VAN = R \cdot \sum_{t=1}^n \frac{(1+k_1)^t}{(1+k)^t} - I_0$$

Siendo:

$k_1$  es el incremento del precio de la energía que se puede expresar en función del tipo de interés como  $k_1 = k + k_2$ .

Ahora, el sumatorio para el cálculo del VAN, se puede simplificar de la siguiente forma:

$$Sn = \sum_{t=1}^n \frac{(1+k+k_2)^t}{(1+k)^t} = \sum_{t=1}^n \left(1 + \frac{k_2}{1+k}\right)^t$$

Por sencillez en el desarrollo matemático llamaremos  $a = \frac{k_2}{1+k}$ , y por lo tanto:

$$\left. \begin{aligned} Sn &= \sum_{t=1}^n (1+a)^t = (1+a) + (1+a)^2 + \dots + (1+a)^n \\ (1+a) \cdot Sn &= (1+a)^2 + \dots + (1+a)^{n+1} \end{aligned} \right\} \Rightarrow (1-1-a) \cdot Sn = (1+a) - (1+a)^{n+1}$$

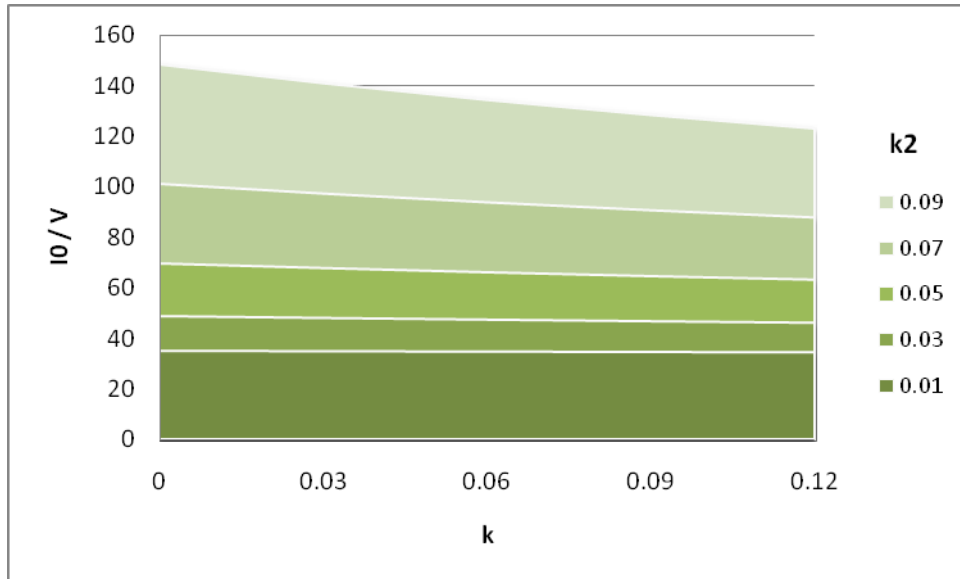
$$Sn = \frac{(1+a)^{n+1} - (1+a)}{a}$$

Sustituyendo en la ecuación del VAN:

$$VAN = R \cdot \left( \frac{(1+a)^{n+1} - (1+a)}{a} \right) - I_0$$

El valor límite de rentabilidad se tiene para  $VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = \frac{(1+a)^{n+1} - (1+a)}{a}$ ,

$$\text{es decir, } VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = \frac{\left(1 + \frac{k_2}{1+k}\right)^{n+1} - \left(1 + \frac{k_2}{1+k}\right)}{\frac{k_2}{1+k}}$$



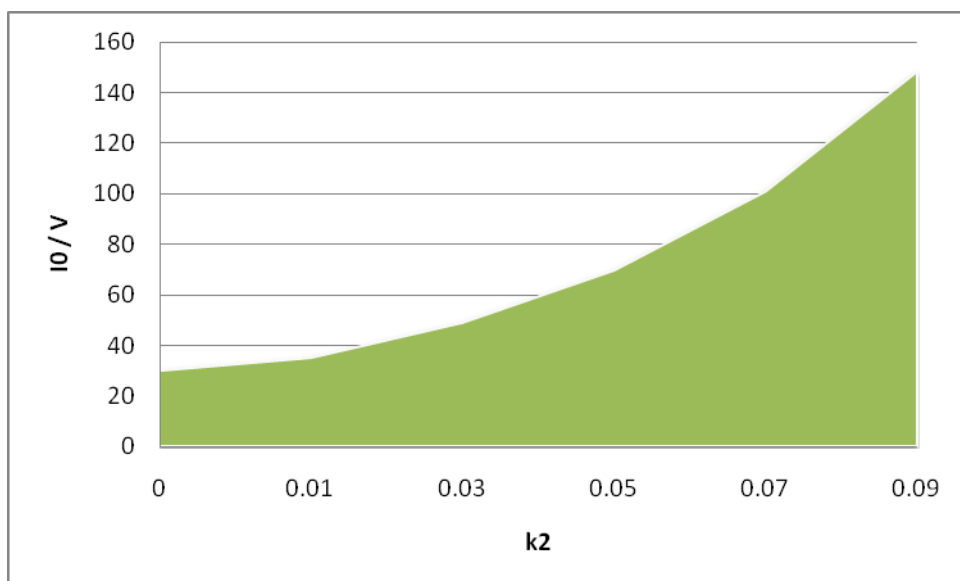
Se observa que el valor de  $I_0/R$  es muy independiente de  $k$ , y básicamente depende de  $k_2$ . Por este motivo, se propone simplificar la expresión anterior tomando  $k = 0$

$$VAN = R \cdot \left( \frac{(1+k_2)^{n+1} - (1+k_2)}{k_2} \right) - I_0$$

$$VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = \frac{(1+k_2)^{n+1} - (1+k_2)}{k_2}$$

Cuando el aumento del precio de la energía coincide con el tipo de interés, entonces  $k_2 = 0$ , y nos encontramos en la hipótesis 2, en la que se deducía que para

$VAN = 0 \Rightarrow \frac{I_0}{R} = n = 30$ . La hipótesis 2, está por lo tanto incluida en la hipótesis 3.



## ANEXO VIII: ESTUDIO DE SOLUCIONES E INVESTIGACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL DISEÑO Y LA COMPOSICIÓN DE PROTECCIONES SOLARES EN LA ILUMINACIÓN NATURAL, Y EL COMPORTAMIENTO Y RESPUESTA ENERGÉTICA QUE ESTAS GENERAN EN EL INTERIOR DE UN LOCAL

Si nos detenemos un instante a analizar qué nos dice la Normativa actual sobre el estudio de la Iluminación de un local y cuales son las Justificaciones a realizar, veremos lo siguiente:

### 1.2 Procedimiento de verificación

- 1 Para la aplicación de esta sección debe seguirse la secuencia de verificaciones que se expone a continuación:
  - a) cálculo del valor de eficiencia energética de la instalación VEEI en cada zona, constatando que no se superan los valores límite consignados en la Tabla 2.1 del apartado 2.1;
  - b) comprobación de la existencia de un sistema de control y, en su caso, de regulación que optimice el aprovechamiento de la luz natural, cumpliendo lo dispuesto en el apartado 2.2;
  - c) verificación de la existencia de un plan de mantenimiento, que cumpla con lo dispuesto en el apartado 5.

Si desarrollamos cada uno de los pasos que aquí nos marcan, observamos en primer lugar:

a)

## 2 Caracterización y cuantificación de las exigencias

### 2.1 Valor de Eficiencia Energética de la Instalación

- 1 La eficiencia energética de una instalación de iluminación de una zona, se determinará mediante el valor de eficiencia energética de la instalación VEEI ( $W/m^2$ ) por cada 100 lux mediante la siguiente expresión:

$$VEEI = \frac{P \cdot 100}{S \cdot E_m} \quad (2.1)$$

siendo

- P la potencia total instalada en lámparas más los equipos auxiliares [W];  
S la superficie iluminada [ $m^2$ ];  
 $E_m$  la iluminancia media horizontal mantenida [lux]

Para la caracterización lumínica del local y su Eficiencia Energética del sistema de Iluminación, son necesarios los datos que vemos en la ecuación 2.1, tales como:

*Potencia Total Instalada / Superficie Iluminada / Iluminancia Media Horizontal Mantenido*

Y todo eso nos dice si nuestro VALOR DE EFICIENCIA ENERGÉTICA DE ILUMINACIÓN CUMPLE con la normativa actual, pero en ningún caso referencia si la orientación del local

es adecuada a su uso, si tiene ventanas al exterior, o a un patio interior, si tiene obstáculos que impidan la entrada de luz solar directa, qué cantidad de luz y a qué horas entra por la ventana, o si la ventana tiene algún tipo de protección solar, y de qué características son...

No me atrevo a preguntar, después de esto, si además conocen el valor de la iluminación reflejada y directa que entra por dicha ventana, o gracias a la protección solar que posee...

Pero sigamos con el **Punto b)**:

## 2.2 Sistemas de control y regulación

- 1 Las instalaciones de iluminación dispondrán, para cada zona, de un sistema de regulación y control con las siguientes condiciones:
  - a) toda zona dispondrá al menos de un sistema de encendido y apagado manual, cuando no disponga de otro sistema de control, no aceptándose los sistemas de encendido y apagado en cuadros eléctricos como único sistema de control. Las zonas de uso esporádico dispondrán de un control de encendido y apagado por sistema de detección de presencia o sistema de temporización;
  - b) se instalarán sistemas de aprovechamiento de la luz natural, que regulen el nivel de iluminación en función del aporte de luz natural, en la primera línea paralela de luminarias situadas a una distancia inferior a 3 metros de la ventana, y en todas las situadas bajo un lucernario, en los siguientes casos:
    - i) en las zonas de los grupos 1 y 2 que cuenten con cerramientos acristalados al exterior, cuando éstas cumplan simultáneamente las siguientes condiciones:

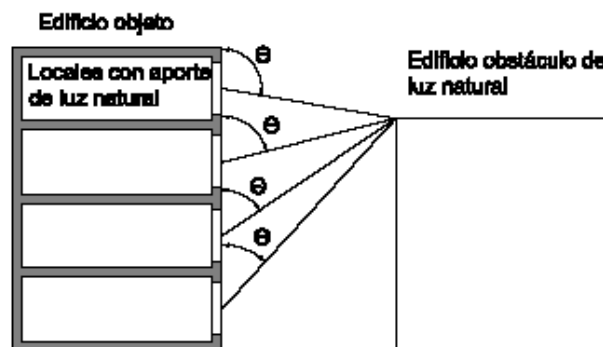


Figura 2.1

- que el ángulo  $\theta$  sea superior a  $65^\circ$  ( $\theta > 65^\circ$ ), siendo  $\theta$  el ángulo desde el punto medio del acristalamiento hasta la cota máxima del edificio obstáculo, medido en grados sexagesimales;
- que se cumpla la expresión:  $T(A_w/A) > 0,07$   
siendo  
T coeficiente de transmisión luminosa del vidrio de la ventana del local en tanto por uno.  
 $A_w$  área de acristalamiento de la ventana de la zona [ $m^2$ ].  
A área total de las superficies interiores del local (suelo + techo + paredes + ventanas) [ $m^2$ ].

Como comprobamos, los sistemas de regulación y control tan sólo hacen referencia a mecanismos que interactúan con el sistema de iluminación, controlando el encendido /

apagado de estos si el nivel de iluminación natural en el interior es el suficiente, según los parámetros de control anteriores.

Y de nuevo, en ningún aspecto, especifica el planteamiento de colocación de protecciones solares, ni las condiciones de confort lumino-térmico que estas pueden presentar.

Es aquí, cuando se hace a nuestro parecer oportuno el desarrollo de este trabajo. Un análisis pormenorizado de la contribución real solar térmico- lumínicas de las protecciones solares existentes. Sus tipos, sus resultados energéticos y lumínicos, y sus aplicabilidades en cada caso.

El resultado final será el desarrollo de un prontuario de diseño de posibles soluciones descritas, además de por sus características físicas, por los resultados relativos a iluminación y energía obtenidos. La intención de este estudio no es denotar unas soluciones para favorecer otras, sino dar por fin una base de conocimientos suficientes que capacite a los arquitectos para tomar las decisiones que favorezcan más en cada caso, olvidando aquella imagen idílica de los señores arquitectos imaginando cómo entraría la luz, o que juego de reflexiones obtendría, tan sólo basados en la poética del lugar, sus ilustrados imaginarios colectivos, y su mayor o menor práctica habitual.

Ciertas medidas recogen una serie de instrumentos, métodos de cálculo, herramientas informáticas o procedimientos de certificación que sean considerados de utilidad. Por ejemplo, cuando se habla del criterio de demanda de energía o de las emisiones de CO<sup>2</sup>, dentro de la guía se advertirá que existen métodos de cálculo de la demanda de energía y de las emisiones, como son el uso sucesivo de los programas no normativos, remarcando lo interesante de su uso porque pueden utilizarse además para una valoración en una mayor profundidad.

Para evaluar la iluminación utilizaremos un programa en Excel© desarrollado en el marco de la asignatura Arquitectura y Medio ambiente durante el curso 2003/2004. Por otra parte, la demanda energética de calefacción y refrigeración se evaluará mediante la norma CEN EN ISO-13790.

El resumen del periodo de investigación consta de las siguientes fases, son esbozos del documento completo donde entre otras soluciones se estudiarán estas. El documento final será el desarrollo completo de la posterior Tesis.

#### 1. DESCRIPCIÓN DEL HABITÁCULO DE ESTUDIO

Presentación y justificación ante la elección del modelo de cálculo utilizado, incluyendo el por qué de sus dimensiones, la orientación en la que poder ubicarlo, la latitud en la que se ha desarrollado el estudio, las características de los paramentos interiores y exteriores del modelo, la relación área vidriada/área de fachada exterior y número de huecos, las condiciones ambientales adoptadas para los cálculos y las hipótesis de cálculo finales.

#### 2. DESCRIPCIÓN DE LAS PROTECCIONES SOLARES

Diseño, composición y elección de las protecciones solares posibles a estudiar ante cada caso. Se incluyen las dimensiones características de cada una de las soluciones adoptadas. Por ejemplo, para lamas horizontales serán necesarias características tales como la anchura de lama, separación entre ellas, longitud de

lana frente a la longitud del hueco, posibles colores a estudiar, material de composición y solución constructiva adoptada.

### 3. EVALUACIÓN DE LA ILUMINACIÓN Y DE LA DEMANDA DE ENERGÍA

En cada habitáculo de estudio, definidos anteriormente, se evaluarán aquellos dispositivos de protección solar diseñados en la **Fase 2** que resulten adecuados, teniendo en cuenta criterios de composición, estética y funcionalidad.

## 2. Descripción del habitáculo tipo

Para establecer las condiciones de estudio se han debido tener en cuenta los dos campos de estudio en los que buscamos resultados de interés: por un lado, el estudio de la demanda energética del local, y en segundo lugar, el estudio de la Iluminación natural en el interior.

Para centrar los resultados en estos dos aspectos concretos debemos partir de un modelo de cálculo que en primer lugar sea simple, toda complejidad inicial de éste supondrán multiplicar factorialmente los problemas que habrá que resolver a posteriori, y por tanto, pocas soluciones directas interesantes que muestren correlaciones y comportamientos reales.

En segundo lugar, marcar condiciones de contorno estrictas que centren y faciliten los cálculos de hipótesis.

Para el estudio analítico de la demanda energética del local, consideramos que los paramentos son muy aislantes, para que no se vean afectados por trasvases energéticos de locales anexos, y donde el único foco de calor exterior sea recibido por la fachada principal de estudio, eliminando los módulos en contacto con el terreno, y aquellos en contacto directo con la cubierta del edificio, por lo que lo suponemos un módulo central con todos sus paramentos adiabáticos exceptuando uno, el que consideramos la fachada principal, a través del que se generará la incidencia solar, es decir el foco de producción de carga térmica.

La elección de la composición constructiva de los cerramientos será indiferente. La condición que tomaremos será que su transividad cumpla los requerimientos del nuevo Código Técnico de la Edificación que ahora veremos.

Los parámetros característicos que definen la envolvente térmica se agrupan en los siguientes tipos:

- a) transmitancia térmica de muros de fachada UM;
- b) transmitancia térmica de cubiertas UC;
- c) transmitancia térmica de suelos US;
- d) transmitancia térmica de cerramientos en contacto con el terreno UT;
- e) transmitancia térmica de huecos UH ;
- f) factor solar modificado de huecos FH;

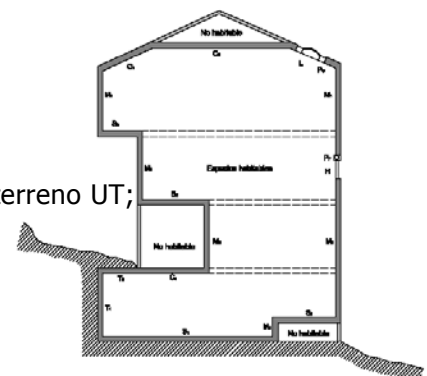


Figura 3.2. Esquema de envolvente térmica de un edificio

g) factor solar modificado de lucernarios FL;

h) transmitancia térmica de medianerías UMD.

Para evitar descompensaciones entre la calidad térmica de diferentes espacios, sabemos que cada uno de los cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica tendrán una transmitancia no superior a los valores indicados en la tabla 2.1 en función de la zona climática en la que se ubique el edificio.

En nuestro caso **Zona B** como ya hemos visto.

Tabla 2.1 Transmitancia térmica máxima de cerramientos y particiones interiores de la envolvente térmica U en W/m<sup>2</sup> K

Cerramientos y particiones interiores	ZONAS A	ZONAS B	ZONAS C	ZONAS D	ZONAS E
Muros de fachada, particiones interiores en contacto con espacios no habitables, primer metro del perímetro de suelos apoyados sobre el terreno <sup>(1)</sup> y primer metro de muros en contacto con el terreno	1,22	1,07	0,95	0,86	0,74
Suelos	0,69	0,68	0,65	0,64	0,62
Cubiertas	0,65	0,59	0,53	0,49	0,46
Vidrios y marcos <sup>(2)</sup>	5,70	5,70	4,40	3,50	3,10
Medianerías	1,22	1,07	1,00	1,00	1,00

<sup>(1)</sup> Se incluyen las losas o soleras enterradas a una profundidad no mayor de 0,5 m

<sup>(2)</sup> Las transmitancias térmicas de vidrios y marcos se compararán por separado.

La demanda energética será inferior a la correspondiente a un edificio en el que los parámetros característicos de los cerramientos y particiones interiores que componen su envolvente térmica, sean los valores límites establecidos en las tablas 2.2 para cada zona climática, en nuestro caso será la **Zona Climática B4**.

#### ZONA CLIMÁTICA B4

Transmitancia límite de muros de fachada y cerramientos en contacto con el terreno  
 Transmitancia límite de suelos  
 Transmitancia límite de cubiertas  
 Factor solar modificado límite de lucernarios

$U_{Mlim}: 0,82 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $U_{Slim}: 0,52 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $U_{Clim}: 0,45 \text{ W/m}^2\text{K}$   
 $F_{Lim}: 0,28$

% de huecos	Transmitancia límite de huecos <sup>(1)</sup> $U_{Hlim}$ W/m <sup>2</sup> K				Factor solar modificado límite de huecos $F_{Hlim}$					
	N	E/O	S	SE/SO	Baja carga interna			Alta carga interna		
					E/O	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO
de 0 a 10	5,4 (5,7)	5,7	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 11 a 20	3,8 (4,7)	4,9 (5,7)	5,7	5,7	-	-	-	-	-	-
de 21 a 30	3,3 (3,8)	4,3 (4,7)	5,7	5,7	-	-	-	0,55	-	0,57
de 31 a 40	3,0 (3,3)	4,0 (4,2)	5,6 (5,7)	5,6 (5,7)	0,55	-	0,58	0,42	0,59	0,44
de 41 a 50	2,8 (3,0)	3,7 (3,9)	5,4 (5,5)	5,4 (5,5)	0,45	-	0,48	0,34	0,49	0,36
de 51 a 60	2,7 (2,8)	3,6 (3,7)	5,2 (5,3)	5,2 (5,3)	0,39	0,55	0,41	0,29	0,42	0,31

El tipo de acristalamiento utilizado será fundamental en la solución obtenida por lo que debemos ensayar los mismos modelos de cálculo para distintas tipologías de cerramientos de vidrio (vidrios simples, acristalamientos dobles y dobles bajo emisivos...).

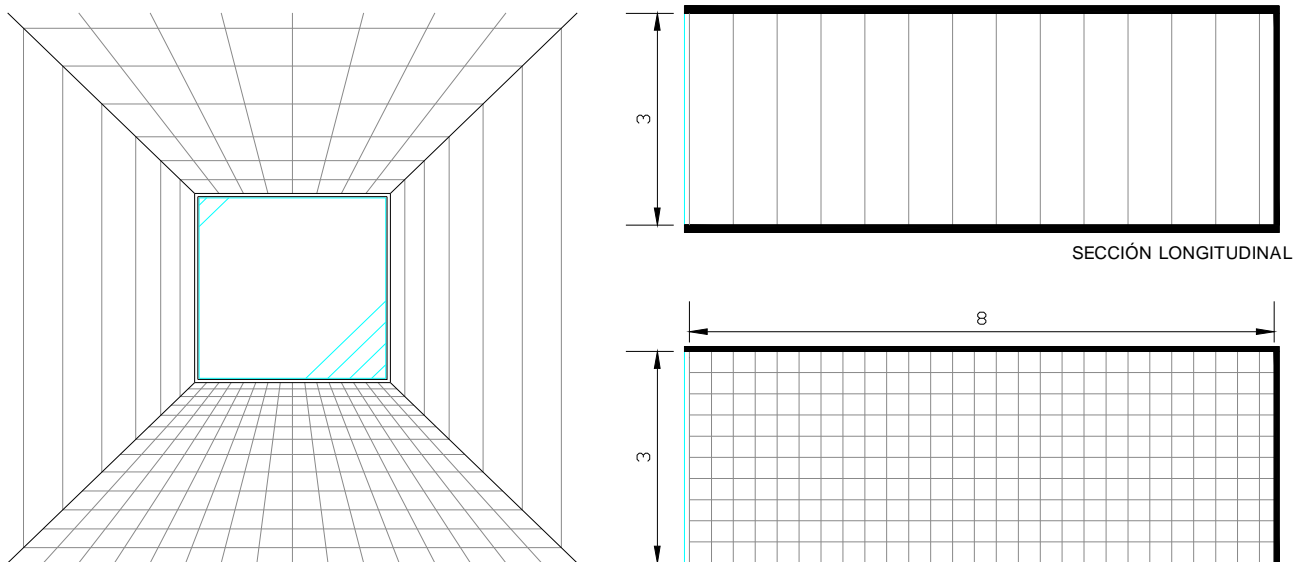
Si considerásemos un módulo de estudio en contacto con el terreno o con la cubierta, deberíamos establecer las pérdidas o ganancias caloríficas que posee el local en esas



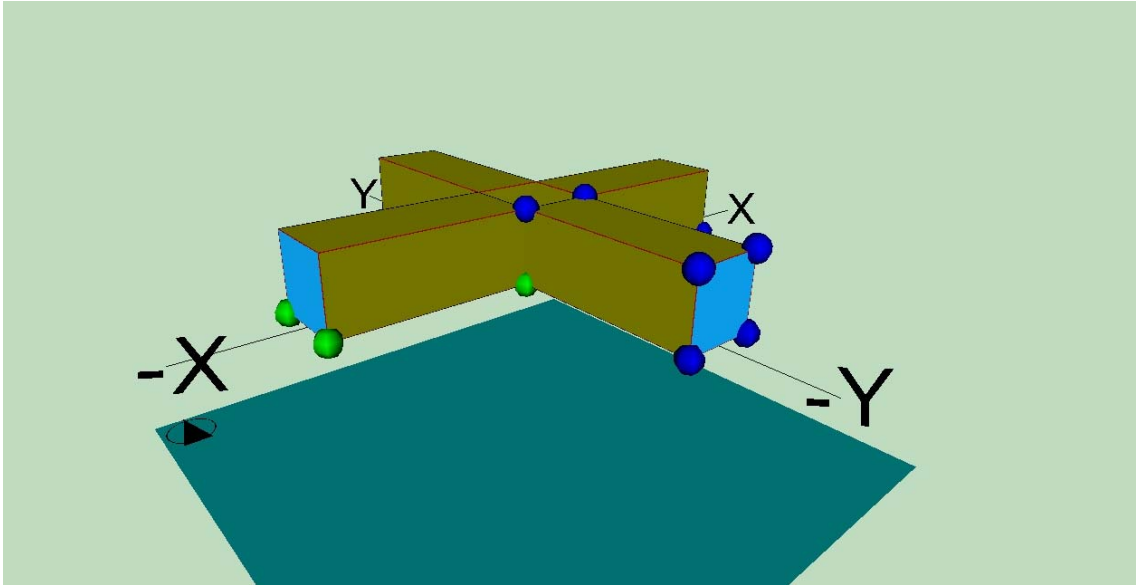
condiciones de contorno, con lo que ya comenzaríamos a introducir nuevas y complejas condiciones de estudio en el modelo inicial, y como empezamos diciendo:

*<<Para centrar los resultados en estos dos aspectos concretos debemos **partir de un modelo de cálculo** que en primer lugar sea **simple, toda complejidad inicial de éste supondrán multiplicar factorialmente los problemas que habrá que resolver a posteriori, y por tanto, pocas soluciones directas interesantes que muestren correlaciones y comportamientos reales.**>>*

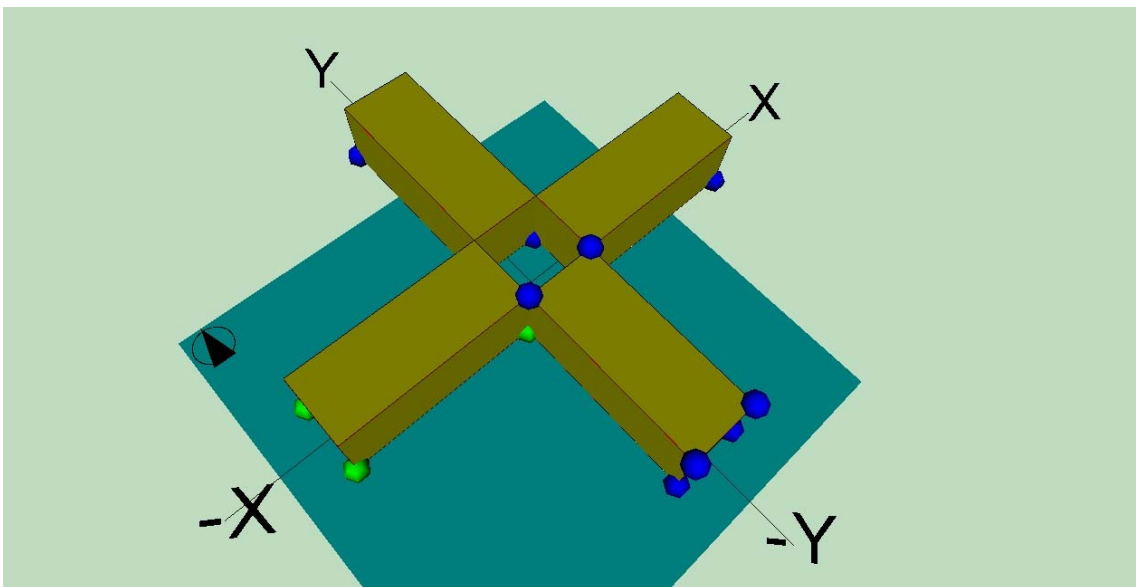
En cuanto al estudio de la Iluminación del local, desde la hipótesis de diseño anterior, queda determinada por defecto la solución adoptada. En esa fachada que hemos denominado "principal" se ubica un "hueco tipo" con el que estudiaremos cómo será la incidencia solar, soleamiento interior directo del local, horas de sombra...por tanto para obtener los datos más interesantes, supondremos un hueco de igual dimensión al de la fachada vertical en cuestión. Conseguimos así establecer las "condiciones de contorno" más desfavorable para el local en cuanto a soleamiento directo, y en cuanto a cargas térmicas en consecuencia del anterior.



El estudio, tanto de la iluminación en el local como de su carga térmica dependerá de la orientación del local, ya que la incidencia solar es distinta en cada una de las orientaciones, y de la altura solar en la que hagamos el modelo de cálculo, que depende de la época del año en la que se evalúe, y de la hora solar en la que supongamos el estudio.



En consecuencia, el modelo será estudiado en todas las orientaciones, haciéndolo girar en las cuatro direcciones principales (Norte, Sur, Este y Oeste), para los límites más desfavorables de incidencia solar (Invierno y Verano), en todas las horas solares en las que existe incidencia solar, según la carta solar para nuestra latitud, que suponemos en Sevilla ( $37^\circ$ ), y para los tres escenarios de iluminación posibles que dependen de las condiciones de cielo, que modifican la radiación directa y difusa de cada caso (cielo despejado, cielo parcialmente nublado y cielo nublado).



Una vez obtenido los datos de los campos de iluminación obtenidos en función de la profundidad del local, del tipo de cielo, la orientación, y la altura solar, realizaremos esos mismos cálculos ensayando todas las tipologías de protecciones solares sobre el modelo inicial de cálculo, y conocer las variaciones obtenidas, el comportamiento de los campos de iluminación interiores obtenidos ahora con las protecciones solares, si son menores, mayores, en qué casos, en qué orientaciones, en qué época del año tienen un mejor comportamiento... como consecuencia de las protecciones solares, el modelo inicial sufrirá variaciones referentes a las nuevas demandas energéticas, y por tanto podremos analizar las consecuencias energéticas de cada solución adoptada para la composición de protecciones solares, la aplicabilidad técnica de cada una de ellas, y conveniencia de usos de una tipología frente a otras, ya que hasta ahora, el diseño de protecciones solares se ha resumido a la colocación de una solución u otra básicamente por aspecto estético de la obra, y suponiendo en los mejores casos, a ojos del proyectista, cual sería el comportamiento interior de dicha solución.

Este estudio plantea ser un prontuario de soluciones técnicas con su ficha de resultados obtenidos, así como una guía de diseño rápido de protecciones solares que resuelvan aspectos técnicos del proyecto además de poder atender al aspecto estético de la obra.

A través de las fichas resumen se podrán comparar los resultados obtenidos para cada una de las propuestas estudiadas facilitando la comparación entre ellas e incluso con el resultado que obtendríamos de demanda energética e iluminación para el modelo de estudio en el punto inicial, sin ninguna aplicar ninguna de las soluciones.

### **3. Descripción de las protecciones solares**

En el diseño y la composición de las protecciones solares posibles a estudiar ante cada caso establecemos todo el abanico de soluciones posibles a aplicar en un modelo como el que tenemos. Se incluirán las dimensiones y características de cada una de las soluciones con el fin de facilitar sus posteriores aplicabilidades para cada uno de los casos que adoptará el modelo de estudio, como hemos visto en el punto anterior.

Las protecciones solares quedan enmarcadas en los siguientes grandes grupos:

- Voladizos
- Lamas
- Toldos-contraventanas
- Persianas
- Vegetación exterior adecuada

La característica más interesante para nuestro estudio son las sombras que arrojan cada una de estas soluciones. Podemos analizar este parámetro mediante varios métodos, tanto **numéricos** como **gráficos** que ahora veremos.

Por un lado, podemos estudiar **la sombra arrojada mediante métodos numéricos** a partir de una sencilla fórmula ya muy estudiada en grandes trabajos, como son los realizados por el profesor José María Cabeza Laínez en su libro FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA REDIANTE LUMINOSA / Factor de Forma en Radiación, al que haremos referencia brevemente a continuación.

El modelo ha recibido normalmente el nombre técnico de "nuevo método de factores de configuración". Este nombre se debe a que con él, se organiza una serie de factores de intercambio conocidos como factores de configuración que son el caso más general de los llamados "Factores de forma" que ya habían sido utilizados en Termotecnia para los fenómenos de radiación.

En síntesis, cuando nos encontramos ante un fenómeno radiante en el que se produce una energía suficientemente difusa, nos interesa mucho conocer cómo se va a propagar y distribuir tal energía.

Supongamos que tenemos dos superficies difusoras  $A_1$  y  $A_2$  y que nos interesa hallar el intercambio de energía de las mismas. El problema se convierte fundamentalmente en determinar la cantidad de energía que abandona una superficie y llega a la otra.

Definimos a priori los factores de forma de radiación como:

$F_{12}$  = fracción de la energía que sale de la superficie 1 y llega a la 2.

$F_{21}$  = fracción de la energía que sale de la superficie 2 y llega a la 1.

En general,  $F_{ij}$  = fracción de la energía que sale de la superficie  $i$  y llega a la  $j$ , y viceversa.

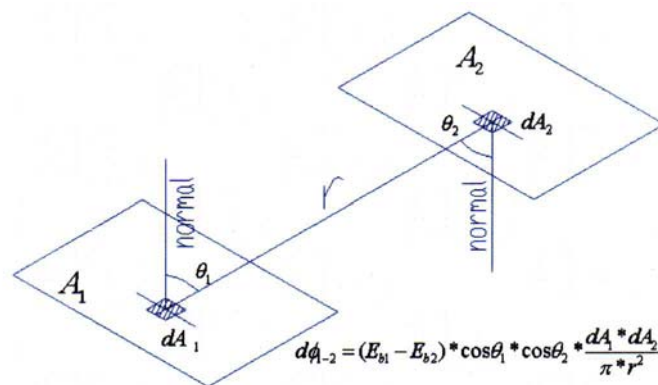


Fig. 1. Disposición de elementos de superficie para obtener el factor de forma de radiación

La energía total por unidad de superficie que deja la superficie 1 y llega a la 2 será:

$$E_{b1} A_1 F_{12}$$

Y la energía total que deja la superficie 2 y llega a la 1 es:

$$E_{b2} A_2 F_{21}$$

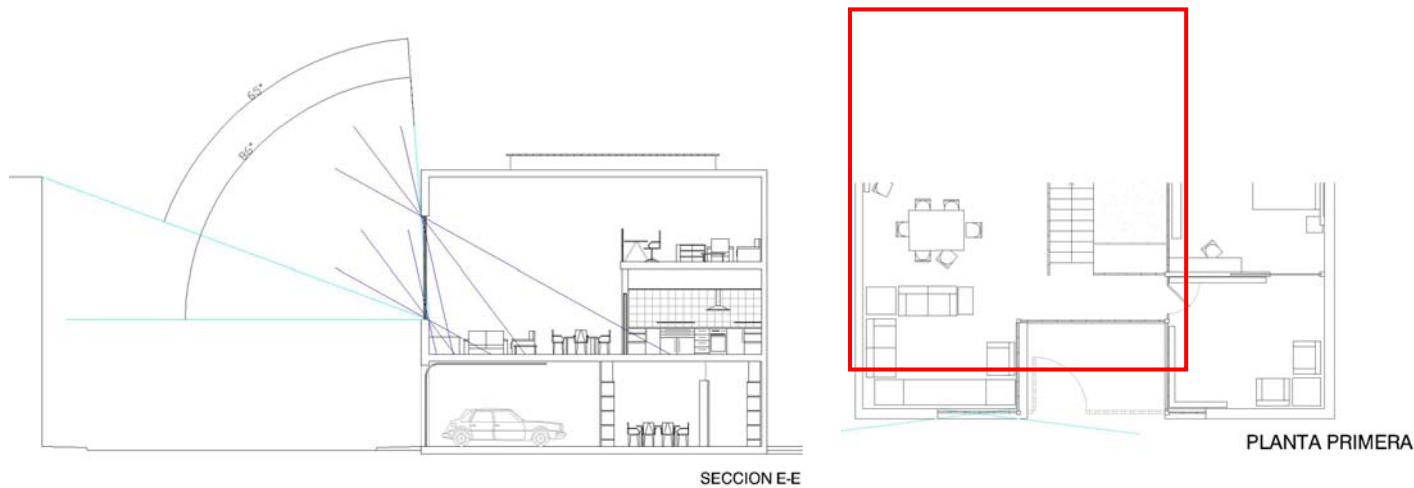
Donde  $E_{b1}, E_{b2}$  son las energías (en  $W/m^2$ ) que son capaces de emitir las superficies 1 y 2.

Si suponemos que no existe reflejo o re-emisión de una superficie hacia la otra (Superficies "negras"), todo lo que llega es directamente absorbido. El intercambio de flujo energético sería:

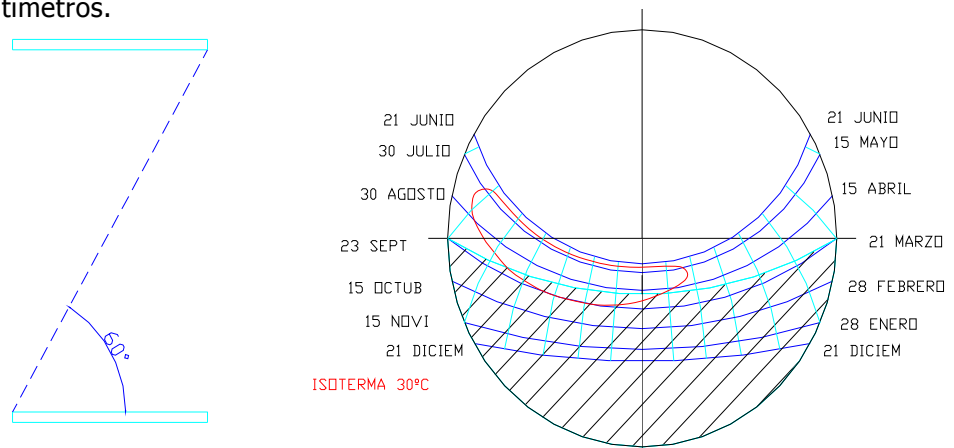
$$d\Phi = E_{b1} A_1 F_{12} - E_{b2} A_2 F_{21}$$

Si no hubiese intercambio de flujo y despreciando todas las posibles pérdidas del recorrido de transmisión,  $d\Phi = 0$ .





En este caso son lamas de 30 cm. de ancho, 1'5 cm. de espesor y separadas cada una entre si 52 centímetros.



Por el interés común, pasaremos a explicar cómo interpretar estos grafismos en proyección estereográfica de las protecciones solares analizadas.

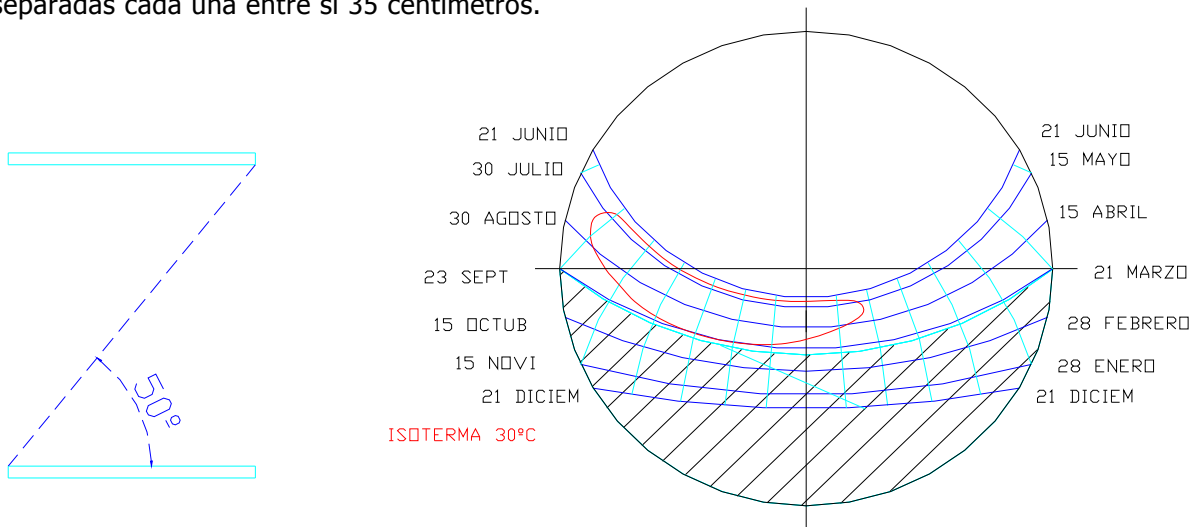
Las líneas de color AZUL marcan los meses del año, siendo la más cercana al centro de la circunferencia, la correspondiente al Solsticio de verano (21 de Junio). La más alejada del centro de la circunferencia es la correspondiente al Solsticio de Invierno (21 de Diciembre). La central corresponde al equinoccio de Primavera – Otoño (21 de Marzo – 23 de Septiembre).

Las líneas de color CIAN corresponden con los usos horarios. La línea que se confunde con la perpendicular a la horizontal hacia abajo, corresponde con las 12 horas (hora solar), desde aquí podemos contar hacia atrás, hora a hora por cada una de las líneas, o hacia delante, de forma similar.

La línea de color ROJO corresponde con la Isotherma de 30°C. Esto significa que cualquier punto de una habitación que se proyecte en el contorno o dentro de esta zona se verá afectada por una temperatura de al menos 30°C, y todas las consecuencias que esta produce.

Las lamas tienen una apertura como vemos en el gráfico, según la distancia entre ellas. Como vemos en el gráfico, el ángulo de apertura es en este caso de 60°; a partir de esa apertura, la lama oculta la radiación de iluminación directa. Esta zona de apertura solar está representada en la proyección en la zona rayada con líneas NEGRAS.

Se verá a continuación otro caso, para lamas de 30 cm. de ancho, 1'5 cm. de espesor y separadas cada una entre sí 35 centímetros.



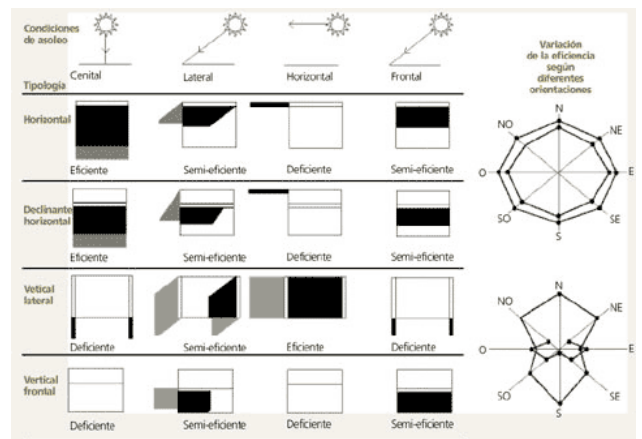
Como vemos, en la proyección estereográfica, la apertura al sur de las lamas queda representada en la zona rayada de las figuras anteriores. Así, podemos observar que en el segundo caso, la lama obtura la radiación solar directa en los meses y horas más desfavorables (en los meses de verano para las horas de la tarde), y en la figura anterior a esta, la lama no controla toda esta radiación.

Para cada una de las soluciones a estudiar, será necesario analizar previamente en estas proyecciones el funcionamiento de cada una de las posibles a adoptar.

Además de los modelos teóricos de soluciones para la protección solar, es necesario aclarar que las situaciones que ocurren en la vida cotidiana pueden asemejarse a alguna de estas soluciones "de papel". Así podemos distinguir entre cada una de las soluciones las siguientes posibilidades:

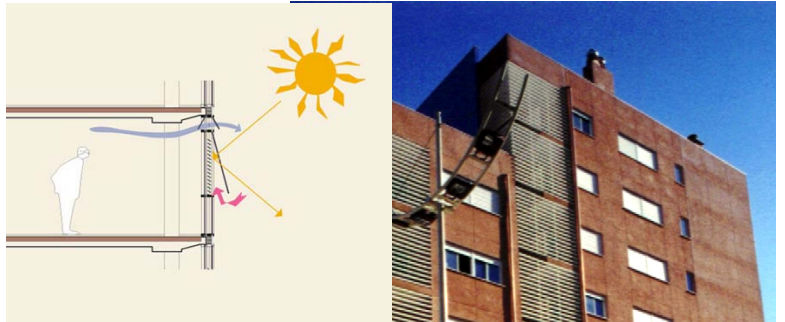
- Voladizos

- Superiores (overhangs)
- Inferiores (Light-shelves)
- Laterales

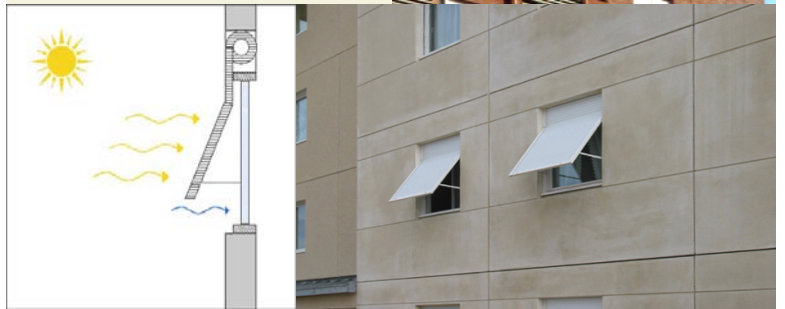




- Lamas
  - Horizontales (móviles o fijas)
  - Verticales (móviles o fijas)
  - Brise-soleils



- Toldos-contraventanas



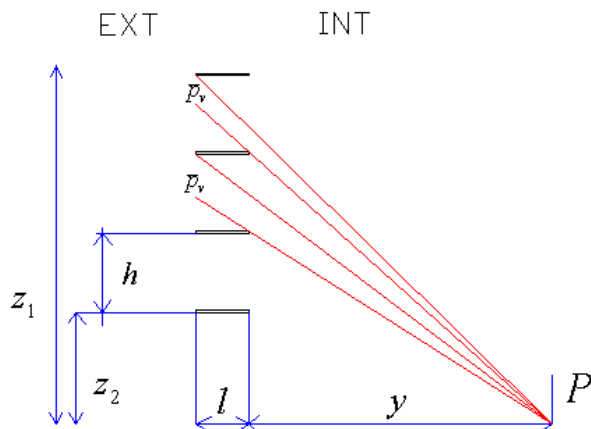
- Persianas

- Vegetación exterior adecuada

Para el análisis del campo lumínico interior, hemos buscado que las protecciones solares estudiadas fuesen lo más realistas posibles, ya que prima la aplicabilidad, por lo que en los cálculos no se han tomado modelos como persianas, toldos-contraventanas o el estudio de una vegetación exterior adecuada. Son las expuestas en las fichas siguientes:

- Lamas
  - Horizontales fijas

PORCIÓN VISIBLE DE LAMAS

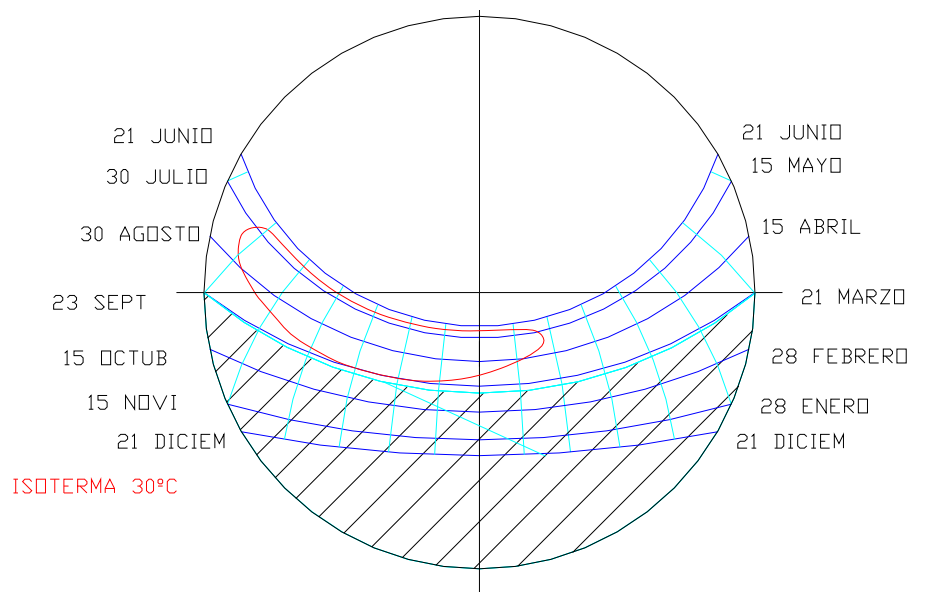
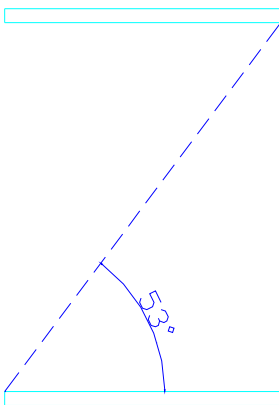
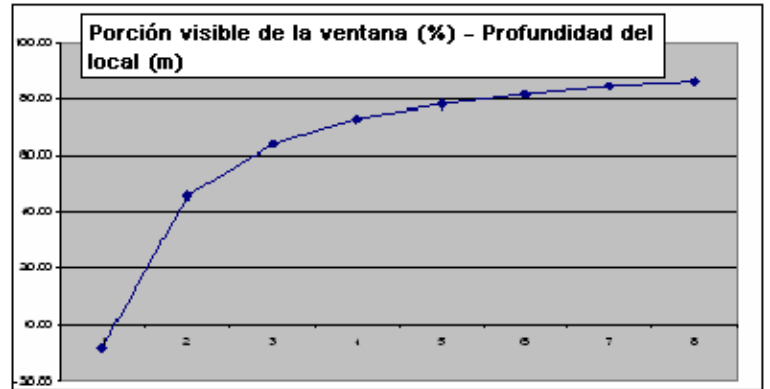


A(gra)	H	Z1	
0	0.415	3	
A(rad)	L	Z2	
0	0.3	0	
Y	PV	PV %	
1	-0.25	-8.43	-0.08
2	1.37	45.78	0.46
3	1.92	63.86	0.64
4	2.19	72.89	0.73
5	2.35	78.31	0.78
6	2.46	81.93	0.82
7	2.54	84.51	0.85
8	2.59	86.45	0.86



Lamas fijas de espesor despreciable, de 30 cm. de ancho, longitud igual al ancho del hueco y separadas entre sí 41,5 cm. ocupando todo el hueco abierto en el local, ya que la primera lama se encuentra a nivel con la parte inferior de la ventana.

En la gráfica de la derecha podemos ver el estudio de la porción visible de cielo que permite esta composición de lamas horizontales fijas.



- Voladizos
  - Superiores (overhangs)
  - Inferiores (Light-shelves)

Voladizos fijos de espesor despreciable, de 70 cm. de ancho, longitud igual al ancho del hueco y separadas entre sí 300 cm. ocupando todo el hueco abierto en el local, ya que el primer voladizo se encuentra a nivel con la parte inferior de la ventana, y el segundo se encuentra a nivel con la parte superior.

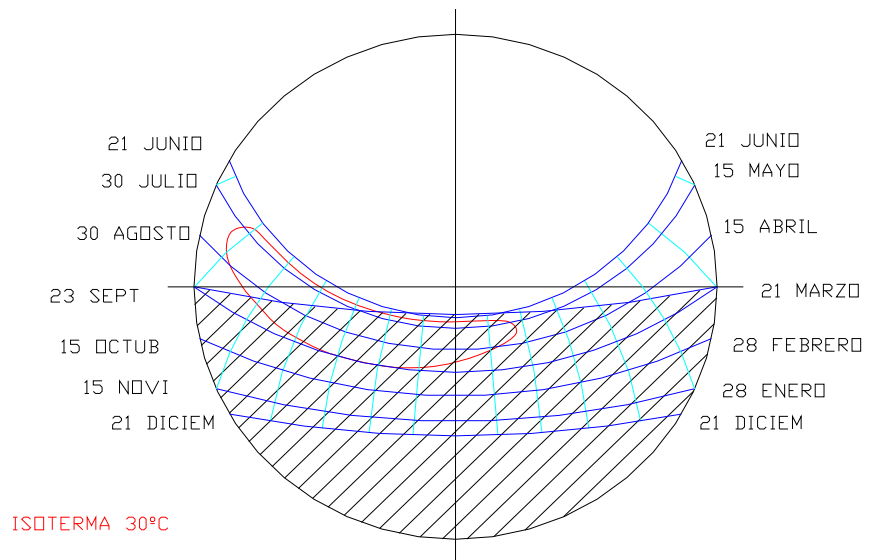
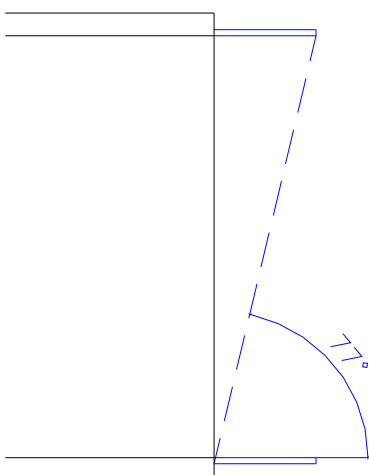
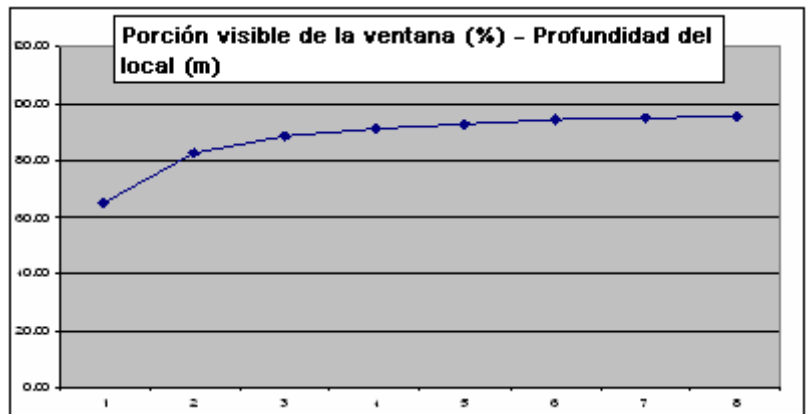
En la gráfica de la derecha podemos ver el estudio de la porción visible de cielo que permite esta composición de voladizos horizontales fijos.

Como vemos en el gráfico inferior, esta composición no protege de las radiaciones de la Isoterma 30°C. Debemos entender que el voladizo inferior no protege de la incidencia de los rayos solares, sino que genera tan solo una superficie de reflexión.

Será un punto interesante de estudio el analizar el comportamiento lumínico y, sobre todo térmico, de este local en las orientaciones más perjudiciales.

PORCIÓN VISIBLE DE VOLADIZOS

A(gra)	H	Z1	
0	3	3	
A(rad)	L	Z2	
0	0.7	0	
Y	PV	PV %	
1	1.95	65.00	0.65
2	2.48	82.50	0.83
3	2.65	88.33	0.88
4	2.74	91.25	0.91
5	2.79	93.00	0.93
6	2.83	94.17	0.94
7	2.85	95.00	0.95
8	2.87	95.63	0.96



#### **4. Evaluación de la iluminación y de la demanda de energía en los locales de estudio expuestos**

En cada habitáculo de estudio, definidos anteriormente, se evaluarán aquellos dispositivos de protección solar diseñados en la **Fase 2** (DESCRIPCIÓN DE LAS PROTECCIONES SOLARES) que resulten adecuados, teniendo en cuenta criterios de composición, estética y funcionalidad.

Para los estudios de cargas térmicas y campos lumínicos se han aplicado las siguientes soluciones:

##### **4.1 Estudio de las Cargas Térmicas del local.**

En primer lugar, para el estudio de las cargas térmicas del ámbito de estudio, comenzamos por analizar cuál es la carga térmica común del local sin protecciones solares, y en dos escenarios comunes de actuación:

Por un lado, estudiamos la carga térmica con cerramiento acristalado con vidrio simple de 6mm. En segundo lugar, con un cerramiento acristalado de vidrio doble de 6+6mm.

El método de cálculo es el facilitado en asignaturas tales como Instalaciones II, de la Cátedra de Construcciones Arquitectónicas de la Escuela Superior de Arquitectura de Sevilla, y que son comúnmente utilizados para el cálculo de Instalaciones de climatización y sus demandas, en edificios residenciales.

Se estudia la Carga Térmica punta de un local en cada una de las cuatro orientaciones principales, para cuatro horas concretas del día, para los meses de julio, agosto y septiembre. Estas cargas dependen de la suma de:

- PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE CERRAMIENTOS OPACOS
- PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE SUPERFICIES ACRISTALADAS POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN
- PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE SUPERFICIES ACRISTALADAS POR RADIACIÓN
- PÉRDIDAS DE CARGA POR OCUPACIÓN
- PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LOCALES NO CLIMATIZADOS
- PÉRDIDAS DE CARGA POR ILUMINACIÓN fluorescente e incandescente

Como expusimos en la definición del modelo de estudio, suponíamos el modelo adiabático en todas sus caras exceptuando el cerramiento al exterior, totalmente acristalado, por lo que, como veremos en los resultados obtenidos, no se tendrán en cuenta las pérdidas por transmisión a través de cerramientos opacos ni las pérdidas a través de locales no calefactados.

Sólo se desarrollan las demandas de Refrigeración, como hemos comentado anteriormente, por varios motivos. Se está evaluando las respuestas de las protecciones solares donde la severidad climática entendemos que hace que sea provechosa la existencia de estas, en este caso en particular, para Sevilla. Por otro lado, las protecciones solares analizadas han sido estudiadas previamente para conseguir que protejan la radiación solar directa más perjudicial, de verano, y permite la entrada de la radiación directa de primavera, otoño e invierno.

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE EDIFICACIÓN DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS BÁSICAS

CARGAS DE VERANO

CARGAS MÁXIMAS DE CADA LOCAL

Escenario de estudio 1 (3x3x8 metros)		PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE CERRAMIENTOS OPACOS									
julio	Cerramientos	Superficie (m2)	K	a	b	AT eq sombra	AT eq sol	Rs	Rm	AT eq	Carga
	Este 11h	0.00	0.60	3.50	0.55	-0.50	17.20	444.00	444.00	12.74	0.00
	Este 13h	0.00	0.60	3.50	0.55	1.70	10.60	444.00	444.00	10.10	0.00
	Este 15h	0.00	0.60	3.50	0.55	4.40	7.20	444.00	444.00	9.44	0.00
	Este 18h	0.00	0.60	3.50	0.55	6.70	7.80	444.00	444.00	10.81	0.00
	Norte 11h	0.00	0.60	3.50	0.55	-0.50	-0.50	40.00	40.00	3.00	0.00
	Norte 13h	0.00	0.60	3.50	0.55	1.70	1.70	40.00	40.00	5.20	0.00
	Norte 15h	0.00	0.60	3.50	0.55	4.40	4.40	40.00	40.00	7.90	0.00
	Norte 18h	0.00	0.60	3.50	0.55	6.70	6.70	40.00	40.00	10.20	0.00
	Oeste 11h	0.00	0.60	3.50	0.55	-0.50	1.10	444.00	444.00	3.88	0.00
	Oeste 13h	0.00	0.60	3.50	0.55	1.70	3.90	444.00	444.00	6.41	0.00
	Oeste 15h	0.00	0.60	3.50	0.55	4.40	10.60	444.00	444.00	11.31	0.00
	Oeste 18h	0.00	0.60	3.50	0.55	6.70	22.20	444.00	444.00	18.73	0.00
	Sur 11h	0.00	0.60	3.50	0.55	-0.50	3.90	187.00	187.00	5.42	0.00
	Sur 13h	0.00	0.60	3.50	0.55	1.70	11.10	187.00	187.00	10.37	0.00
	Sur 15h	0.00	0.60	3.50	0.55	4.40	13.90	187.00	187.00	13.13	0.00
	Sur 18h	0.00	0.60	3.50	0.55	6.70	11.10	187.00	187.00	12.62	0.00

Podemos comprobar como se cumplen las afirmaciones que marcábamos anteriormente de que la PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN A TRAVÉS DE CERRAMIENTOS OPACOS serán de carga nula, ya que no existen en nuestro modelo de cálculo.

PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE SUPERFICIES ACRISTALADAS										
POR CONDUCCIÓN Y CONVECCIÓN										
Sup. Acristalada	HORAS	Superficie (m2)	K	te(15h)	c1	c2	Te (°C)	Ti (°C)	Carga	
orientación E	11.00	9.00	5.00	37.80	4.20	0.00	33.60	24.00	432.00	
orientación E	13.00	9.00	5.00	37.80	1.90	0.00	35.90	24.00	535.50	
orientación E	15.00	9.00	5.00	37.80	0.00	0.00	37.80	24.00	621.00	
orientación E	18.00	9.00	5.00	37.80	2.10	0.00	35.70	24.00	526.50	
orientación N	11.00	9.00	5.00	37.80	4.20	0.00	33.60	24.00	432.00	
orientación N	13.00	9.00	5.00	37.80	1.90	0.00	35.90	24.00	535.50	
orientación N	15.00	9.00	5.00	37.80	0.00	0.00	37.80	24.00	621.00	
orientación N	18.00	9.00	5.00	37.80	2.10	0.00	35.70	24.00	526.50	
orientación O	11.00	9.00	5.00	37.80	4.20	0.00	33.60	24.00	432.00	
orientación O	13.00	9.00	5.00	37.80	1.90	0.00	35.90	24.00	535.50	
orientación O	15.00	9.00	5.00	37.80	0.00	0.00	37.80	24.00	621.00	
orientación O	18.00	9.00	5.00	37.80	2.10	0.00	35.70	24.00	526.50	
orientación S	11.00	9.00	5.00	37.80	4.20	0.00	33.60	24.00	432.00	
orientación S	13.00	9.00	5.00	37.80	1.90	0.00	35.90	24.00	535.50	
orientación S	15.00	9.00	5.00	37.80	0.00	0.00	37.80	24.00	621.00	
orientación S	18.00	9.00	5.00	37.80	2.10	0.00	35.70	24.00	526.50	

PÉRDIDAS POR TRANSMISIÓN DE CALOR A TRAVÉS DE SUPERFICIES ACRISTALADAS				
POR RADIACIÓN				
Int. Rad.	F ganancia	F almacenaje	Radiación solar	
116.00	0.90	0.50	469.80	
38.00	0.90	0.39	120.04	
35.00	0.90	0.34	96.39	
13.00	0.90	0.26	27.38	
38.00	0.90	0.86	264.71	
38.00	0.90	0.88	270.86	
35.00	0.90	0.92	260.82	
65.00	0.90	0.93	489.65	
38.00	0.90	0.33	101.57	
116.00	0.90	0.31	291.28	
390.00	0.90	0.42	1326.78	
320.00	0.90	0.60	1555.20	
170.00	0.90	0.55	757.35	
170.00	0.90	0.65	895.05	
70.00	0.90	0.65	368.55	
13.00	0.90	0.50	52.65	

PÉRDIDAS DE CARGA POR OCUPACIÓN				
Ganancias por ocupantes		ocupantes	Carga sensible	latente
sensible	latente			
45.00	55.00	10.00	450.00	550.00

PÉRDIDAS DE CARGA POR ILUMINACIÓN fluorescente				
potencia (w)	Superficie	Carga sensible		
10.00	9.00	96.75		
PÉRDIDAS DE CARGA POR ILUMINACIÓN Incandescente				
potencia (w)	Superficie			Carga
20.00	9.00	180.00		154.80

PÉRDIDAS DE CALOR A TRAVÉS DE LOCALES NO CLIMATIZADOS					
	Superficie m2	k	AT <sup>a</sup>	Carga sensible	carga sensible total
muro	0.00	2.10	10.00	0.00	0.00
ventana	0.00	4.25	10.00	0.00	
puerta	0.00	3.10	10.00	0.00	
forjado	0.00	1.25	10.00	0.00	

Finalmente, obtenemos los resultados conjuntos de las operaciones anteriores. Marcamos la carga máxima del mes en la hora más desfavorable en color naranja para facilitar la comparación posterior que realizaremos a continuación.

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1998.55	1752.29	1814.14	1650.63
<b>Wattios</b>	2318.32	2032.66	2104.40	1914.73
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1793.46	1903.11	1978.57	2112.90
<b>Wattios</b>	2080.41	2207.61	2295.14	2450.96
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1630.32	1923.53	3044.53	3178.45
<b>Wattios</b>	1891.18	2231.29	3531.65	3687.00
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2286.10	2527.30	2086.30	1675.90
<b>Wattios</b>	2651.88	2931.67	2420.11	1944.04

Como vemos, las Cargas térmicas han sido representadas tanto en **Kcal / hora** como en **Wattios** para que el análisis energético sea aun más próximo a la idea de consumo energético y en qué medida repercute cada una de las soluciones obtenidas. En definitiva, una mayor carga térmica supondrá una mayor inversión para amortiguar su efecto térmico en el local, y por tanto un mayor gasto energético para volver a una situación de confort térmico, y por tanto, un mayor gasto monetario para obtener estos resultados.

Además, así conseguimos aproximar los campos de análisis en los que se basan estos estudios, los conceptos de Radiación (iluminación), Carga térmica, y Ahorro Energético.

La aproximación adoptada para el análisis del Ahorro energético de las protecciones solares en las situaciones de partida descritas será la disminución de la radiación solar directa sobre el vidrio de la fachada exterior, y la consecuente disminución de la carga térmica interior del local, como ahora demostraremos.

A continuación sólo expondremos el desarrollo de los resultados finales obtenidos y el análisis de sus comparaciones, mientras que los documentos completos de cálculos quedan redactados en el **Anexo 1 Estudio de Cargas Térmicas**.

**CARGAS DE VERANO con VIDRIO SIMPLE de 6mm. SIN PROTECCION SOLAR**

MES DE JULIO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1998.55	1752.29	1814.14	1650.63
<b>Wattios</b>	2318.32	2032.66	2104.40	1914.73
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1793.46	1903.11	1978.57	2112.90
<b>Wattios</b>	2080.41	2207.61	2295.14	2450.96
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1630.32	1923.53	3044.53	3178.45
<b>Wattios</b>	1891.18	2231.29	3531.65	3687.00
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2286.10	2527.30	2086.30	1675.90
<b>Wattios</b>	2651.88	2931.67	2420.11	1944.04

MES DE AGOSTO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1926.10	1655.54	1717.39	1543.35
<b>Wattios</b>	2234.28	1920.43	1992.17	1790.28
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1696.71	1806.36	1881.82	1669.63
<b>Wattios</b>	1968.18	2095.38	2182.91	1936.77
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1533.57	1841.84	2957.99	2629.72
<b>Wattios</b>	1778.95	2136.54	3431.26	3050.48
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2603.67	2920.20	2347.57	1558.90
<b>Wattios</b>	3020.25	3387.43	2723.18	1808.32

MES DE SEPTIEMBRE

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1874.35	1594.32	1657.38	1474.75
<b>Wattios</b>	2174.25	1849.41	1922.56	1710.71
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1624.06	1733.23	1807.71	1474.75
<b>Wattios</b>	1883.91	2010.55	2096.95	1710.71
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1473.81	1790.09	2511.60	1474.75
<b>Wattios</b>	1709.61	2076.51	2913.46	1710.71
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2850.40	3221.20	2695.96	1474.75
<b>Wattios</b>	3306.46	3736.59	3127.31	1710.71
	150*24=	3600.00		

Observamos como para un vidrio simple de 6mm. la carga de refrigeración punta se encuentra en torno los **3700 Wattios (3687W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h., **3431.26W.** en Agosto, al Sur, a las 15:00h. y de **3736.59W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h.).

Como comprobación rápida del resultado obtenido, podemos decir que la potencia necesaria para la refrigeración de un local es de 150 W/ m<sup>2</sup>, con lo que podemos observar que los resultados obtenidos son muy aproximados a esta cifra, y por tanto, válidos para nuestro estudio.

Veremos ahora estos mismos cálculos de cargas térmicas del local modificando tan solo el tipo de vidrio utilizado, suponiendo en este segundo caso un vidrio doble 6+6 mm. de nuevo sin ninguna protección solar anexa al hueco, tan sólo, que comportamiento térmico se genera ahora en el local si mejoramos el tipo de cerramiento acristalado.

Como en el caso anterior, sólo expondremos el desarrollo de los resultados finales obtenidos y el análisis de sus comparaciones, mientras que los documentos completos de cálculos quedan redactados en el **Anexo 1 Estudio de Cargas Térmicas.**



**CARGAS DE VERANO con VIDRIO DOBLE de 6+6mm. SIN PROTECCION SOLAR**

MES DE JULIO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
		13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1860.31	1580.93	1615.42	1482.15
<b>Wattios</b>	2163.54	1838.62	1878.73	1723.74
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1655.22	1731.75	1779.85	1944.42
<b>Wattios</b>	1925.02	2014.03	2069.97	2261.35
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1492.08	1752.17	2845.81	3009.97
<b>Wattios</b>	1735.29	2037.77	3309.68	3500.60
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2147.86	2355.94	1887.58	1507.42
<b>Wattios</b>	2497.96	2739.96	2195.26	1753.13

MES DE AGOSTO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1787.86	1484.18	1518.67	1374.87
<b>Wattios</b>	2079.28	1726.10	1766.21	1598.97
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1558.47	1635.00	1683.10	1501.15
<b>Wattios</b>	1812.50	1901.51	1957.45	1745.83
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1395.33	1670.48	2759.27	2461.24
<b>Wattios</b>	1622.77	1942.77	3209.03	2862.42
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2465.43	2748.84	2148.85	1390.42
<b>Wattios</b>	2867.29	3196.90	2499.11	1617.06

MES DE SEPTIEMBRE

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1752.67	1439.52	1475.22	1322.83
<b>Wattios</b>	2038.36	1674.16	1715.68	1538.45
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1502.38	1578.43	1625.55	1322.83
<b>Wattios</b>	1747.27	1835.71	1890.52	1538.45
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1352.13	1635.29	2329.44	1322.83
<b>Wattios</b>	1572.52	1901.84	2709.14	1538.45
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2728.72	3066.40	2513.80	1322.83
<b>Wattios</b>	3173.50	3566.22	2923.55	1538.45
	150*24=	3600.00		

Observamos como para un vidrio simple de 6mm. la carga de refrigeración punta se encontraba en torno los **3700 Wattios (3687W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h., **3431.26W.** en Agosto, al Sur, a las 15:00h. y de **3736.59W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h.).

Al modificar el vidrio los resultados de carga punta de refrigeración son:

**3500.60W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h. (**187W.** menos que para la solución anterior)

**3209.03W.** en Agosto, al Oeste, a las 15:00h.(**221W.** menos que para la solución anterior)

**3566.22W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h.(**230W.** menos que para la solución anterior)

Si comparamos ahora con la comprobación rápida de los resultados obtenidos, podemos observar que los resultados obtenidos son ahora siempre inferiores a esta cifra, y por tanto, el consumo ya es inferior a los resultados que obteníamos antes, que incluso eran superiores a este parámetro de control que hemos establecido.

Hay que mencionar que estas diferencias de consumo son medidos en un instante determinado, pero si, en lugar de medir el dato puntual medimos el consumo a lo largo de un día, vemos como ese ahorro, que visto de forma puntual no es muy llamativo, es muy considerable en escenarios de mayor continuidad temporal.

Veremos ahora estos mismos cálculos de cargas térmicas del local suponiendo las protecciones solares planteadas para el hueco, y que comportamiento térmico se genera ahora en el local. Estas protecciones supondrán una reducción de la radiación directa sobre el vidrio, y por tanto una reducción en la incidencia calorífica sobre el local.

Como para todos los casos, sólo expondremos el desarrollo de los resultados finales obtenidos y el análisis de sus comparaciones, mientras que los documentos completos de cálculos quedan redactados en el **Anexo 1 Estudio de Cargas Térmicas**.

**CARGAS DE VERANO con VIDRIO DOBLE de 6+6mm. CON PROTECCION SOLAR MEDIANTE BANDEJA SUPERIOR E INFERIOR DE 70 cm.**

MES DE JULIO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1733.02	1464.81	1497.92	1369.98
<b>Wattios</b>	2015.50	1703.58	1742.08	1593.29
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1536.13	1609.60	1655.78	1813.76
<b>Wattios</b>	1786.52	1871.97	1925.67	2109.40
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1379.52	1629.20	2679.10	2836.69
<b>Wattios</b>	1604.38	1894.76	3115.79	3299.07
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2009.07	2208.82	1759.20	1394.24
<b>Wattios</b>	2336.54	2568.86	2045.95	1621.50

MES DE AGOSTO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1756.35	1464.81	1497.92	1359.87
<b>Wattios</b>	2042.63	1703.58	1742.08	1581.53
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1536.13	1609.60	1655.78	1481.10
<b>Wattios</b>	1786.52	1871.97	1925.67	1722.52
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1379.52	1643.66	2688.90	2402.79
<b>Wattios</b>	1604.38	1911.58	3127.19	2794.45
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2406.81	2678.88	2102.90	1374.80
<b>Wattios</b>	2799.12	3115.54	2445.67	1598.90

MES DE SEPTIEMBRE

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1722.56	1421.93	1456.21	1309.92
<b>Wattios</b>	2003.34	1653.71	1693.57	1523.43
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1482.28	1555.29	1600.53	1309.92
<b>Wattios</b>	1723.90	1808.81	1861.42	1523.43
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1338.04	1609.88	2276.27	1309.92
<b>Wattios</b>	1556.14	1872.29	2647.30	1523.43
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2659.57	2983.74	2453.25	1309.92
<b>Wattios</b>	3093.08	3470.09	2853.13	1523.43
	150*24=	3600.00		

Observamos como para un vidrio doble de 6+6mm. la carga de refrigeración punta era:

**3500.60W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h. (**187W.** menos que para la vidrio simple)

**3209.03W.** en Agosto, al Oeste, a las 15:00h. (**221W.** menos que para la vidrio simple)

**3566.22W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h. (**230W.** menos que para la vidrio simple)

Al colocar esta protección solar, los resultados de carga punta de refrigeración son:

**3299.07W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h. (**200W.** menos que sin protección solar)

**3127.19W.** en Agosto, al Oeste, a las 15:00h. (**82W.** menos que sin protección solar)

**3470.09W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h. (**96W.** menos que sin protección solar)

Estas variaciones son razonables al analizar el comportamiento de estas protecciones en su aspecto de generación de sombras sobre el local de estudio, ya que como hemos visto en las fichas de definición de las protecciones solares, la capacidad de esta solución de obstruir la radiación directa solar es muy puntual, por lo que en general, el ahorro es muy poco menor al generado tan sólo por el vidrio utilizado.

Hay que mencionar que estas diferencias de consumo son medidos en un instante determinado, pero si, en lugar de medir el dato puntual medimos el consumo a lo largo de un día, vemos como ese ahorro, que visto de forma puntual no es muy llamativo, es muy considerable en escenarios de mayor continuidad temporal.

Veremos ahora estos mismos cálculos de cargas térmicas del local suponiendo las protecciones solares de lamas planteadas para el hueco, y que comportamiento térmico se genera ahora en el local. Estas protecciones supondrán una reducción de la radiación directa sobre el vidrio, y por tanto una reducción en la incidencia calorífica sobre el local.

**CARGAS DE VERANO con VIDRIO DOBLE de 6 + 6mm. CON PROTECCION SOLAR MEDIANTE LAMAS DE 30 cm. CADA 41´5 cm.**

MES DE JULIO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1757.51	1550.66	1602.61	1465.26
<b>Wattios</b>	2038.71	1798.76	1859.02	1699.70
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1585.23	1677.35	1740.73	1853.56
<b>Wattios</b>	1838.87	1945.72	2019.25	2150.13
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1448.20	1694.49	2636.14	2748.63
<b>Wattios</b>	1679.91	1965.61	3057.92	3188.41
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1999.05	2201.66	1831.22	1486.49
<b>Wattios</b>	2318.90	2553.93	2124.22	1724.32

MES DE AGOSTO

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1777.92	1550.66	1602.61	1456.41
<b>Wattios</b>	2062.39	1798.76	1859.02	1689.44
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1585.23	1677.35	1740.73	1562.49
<b>Wattios</b>	1838.87	1945.72	2019.25	1812.48
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1448.20	1707.15	2644.71	2368.96
<b>Wattios</b>	1679.91	1980.29	3067.86	2748.00
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2347.08	2612.96	2131.96	1469.48
<b>Wattios</b>	2722.61	3031.04	2473.07	1704.59

MES DE SEPTIEMBRE

PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL ESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1734.45	1499.22	1552.20	1398.79
<b>Wattios</b>	2011.97	1739.10	1800.55	1622.60
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL NORTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1524.21	1615.91	1678.48	1398.79
<b>Wattios</b>	1768.08	1874.46	1947.04	1622.60
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL OESTE				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	1398.00	1663.68	2269.75	1398.79
<b>Wattios</b>	1621.68	1929.87	2632.91	1622.60
PÉRDIDAS TOTALES DE CARGA DEL LOCAL SUR				
	11h	13h	15h	18h
<b>kcal/h</b>	2554.34	2865.81	2424.61	1398.79
<b>Wattios</b>	2963.03	3324.34	2812.54	1622.60
	150*24=	3600.00		

Observamos como para un vidrio doble de 6+6mm. la carga de refrigeración punta era:

**3500.60W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h. (**187W.** menos que para la vidrio simple)

**3209.03W.** en Agosto, al Oeste, a las 15:00h. (**221W.** menos que para la vidrio simple)

**3566.22W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h. (**230W.** menos que para la vidrio simple)

Al colocar esta protección solar, los resultados de carga punta de refrigeración son:

**3057.92W.** en Julio, al Oeste, a las 18:00h. (**443W.** menos que sin protección solar)

**3067.86W.** en Agosto, al Oeste, a las 15:00h. (**142W.** menos que sin protección solar)

**3324.34W.** en Septiembre, al Sur, a las 13:00h. (**242W.** menos que sin protección solar)

Hay que mencionar que estas diferencias de consumo son medidos en un instante determinado, pero si, en lugar de medir el dato puntual medimos el consumo a lo largo de un día, vemos como ese ahorro, que visto de forma puntual no es muy llamativo, es muy considerable en escenarios de mayor continuidad temporal, y aun más si se comparan con los resultados obtenidos con el cerramiento acristalado sólo con vidrio simple. Estamos viendo que sólo con la colocación de lamas conseguimos unos ahorros energéticos muy llamativos frente a los escenarios de consumo existentes en la actualidad.

Además es necesario extrapolar dos conceptos fundamentales.

El primero es que nuestro escenario de estudio es mucho más desfavorable que los existentes en la realidad, ya que las ventanas existentes en cerramientos de edificios residenciales comunes son mucho menor a la estudiada en este caso, por lo que el ahorro energético será un aspecto de mucha consideración en esos casos.

En segundo lugar especificar que la solución de lama adoptada es puntual y "casual", ya que podríamos realizar un estudio sólo para saber cual es la mejor configuración de lamas en cada caso, orientación, ubicación...aunque, aun así, parece que el concepto que buscábamos analizar y los resultados obtenidos son muy clarificadores.

## **4.2 Estudio de los Campos Lumínicos en el local**

Para el análisis del campo lumínico interior, hemos buscado que las protecciones solares estudiadas fuesen lo más realistas posibles, ya que prima la aplicabilidad.

Una vez analizado el comportamiento térmico en el interior del local, por la actuación directa de las protecciones solares, en la interrupción de una parte considerable de la radiación directa sobre la superficie acristalada, podríamos pensar a priori, que si estas protecciones consiguen reducir la radiación directa solar sobre el vidrio, genera sombra, y por tanto reduce el campo lumínico en el interior.

A continuación analizaremos qué ocurre exactamente con el campo lumínico del local de la siguiente manera.

Se estudian los niveles de iluminación obtenidos en el interior del local, en función de varios parámetros:

- En función de la profundidad del local
- En función de la orientación geográfica de la fachada acristalada
- En función del periodo del año en que se evalúe
- En función de las posibles condiciones de cielo existentes:
  - Cielo despejado
  - Cielo parcialmente nublado
  - Cielo nublado

En primer lugar es necesario conocer el valor lumínico de la incidencia solar en la localidad de estudio, que variará si analizamos la radiación directa sobre una superficie horizontal o sobre una superficie vertical.

Como podemos ver en el texto de referencia "FUNDAMENTOS DE TRANSFERENCIA RADIANTE LUMINOSA" del Dr. Arquitecto José María Cabeza Laínez:

Cuando no existen registros de medición, se tienen unas sencillas fórmulas que nos permiten disponer de datos aproximados. En principio se pueden utilizar en todas las zonas climáticas, aunque como veremos su dependencia solar es importante. Por ello en áreas de especial nubosidad o turbidez podrían introducir algún grado de error, sin embargo, consideramos preferible esto a no disponer de ningún orden de magnitud.

Para sol directo con cielo despejado, superficie normal al sol.

$$E(Klux) = 127.5 * e^{(-0.21 / \text{sen} \theta)}$$

Para sol directo con cielo parcialmente nublado:

$$E(Klux) = 127.5 * e^{(-0.80 / \text{sen} \theta)}$$

Las proyecciones correspondientes a superficie horizontal y vertical serán:

$$E_h = E_n * \text{sen} \theta$$

$$E_v = E_n * \cos \theta * \cos \phi$$

Donde  $\theta$  es la altura solar en radianes y  $\phi$  es el azimut del sol respecto a la superficie vertical considerada.

Las fórmulas para predecir la iluminación horizontal bajo los tres tipos más comunes de cielo (despejado, parcialmente nublado y nublado), son:

$$E_h(Klux) = 16.3 * \text{sen}^{0.5} \theta$$

Cielo despejado,

$$E_h(Klux) = 45.3 * \text{sen} \theta$$

Cielo parcialmente nublado,

$$E_h(Klux) = 21.3 * \text{sen} \theta$$

Respectivamente para el cielo nublado.



Para hallar la incidencia sobre superficies verticales es necesario emplear fórmulas algo más complejas. En el caso de cielo despejado, la iluminación vertical, debida a medio hemisferio vale,

$$E_v = 4000 * \theta^{1.3} + 12000 * \text{sen}^{0.3} \theta * \cos^{1.3} \theta * [(2 + \cos \phi) / (3 - \cos \phi)]$$

El multiplicador final en realidad mide la separación entre la superficie vertical estudiada y el sol, y lógicamente su valor oscila entre 1.5 (3/2) y 0.25 (1/4). para superficies perpendiculares a los rayos del sol u opuestas a los mismos.

Para cielo completamente nublado, similar al de la CIE tendríamos,

$$E_v = 8500 * \text{sen} \theta$$

Con todas las fórmulas se puede componer la siguiente tabla, muy útil por su carácter universal. Basta conocer la altura solar, con lo que podemos considerar que la iluminación es prácticamente un funcional de este único dato, de ahí su importancia. Para otras orientaciones distintas de la Sur habría que considerar el modificador de azimut pero en todo caso, con las dos coordenadas solares y principalmente con la altura, como hemos dicho tenemos el problema resuelto

ANGULO SOLAR	RADIACIÓN DIRECTA (SOL)			CIELO DESPEJADO		CIELO NUBLADO		CIELO PARCIAL. NUBLADO	
	NORMAL	HORIZ.	VERTICAL SUR 12 H.	HORIZ.	VERTICAL SUR 12 H.	HORIZ.	VERT.	HORIZ.	VERTICAL SUR 12 H.
0°	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10°	38045.18	6606.47	37467.19	6792.39	11056.19	3698.70	1476.00	7866.26	9424.23
20°	69000.75	23599.64	64839.49	9532.64	13560.20	7285.02	2907.17	15493.51	16217.91
30°	83773.46	41886.73	72549.95	11525.84	14714.31	10650	4250	22650	21304.69
40°	91965.57	59114.33	70449.72	13068.36	14909.37	13691.37	5463.69	29118.27	24622.40
50°	96929.20	74252.07	62304.88	14266.40	14381.19	16316.74	6511.37	34701.81	26156.72
60°	100045.91	86642.30	50022.95	15168.85	13372.24	18446.34	7361.21	39230.95	26025.01
70°	101965.96	95816.66	34874.41	15800.85	12163.90	20015.45	7987.38	42568.07	24488.36
80°	103015.22	101450.19	17888.40	16175.70	11100.08	20976.40	8370.86	44611.79	21935.50
90°	103349.49	103349.49	0	16300	10792.12	21300	8500	45300	18849.55

Tabla Universal de valores lumínicos (Unidades de lux).

Conociendo la altura solar en un lugar para un día y una hora determinada, podremos establecer las condiciones lumínicas para cada situación atmosférica, según su probabilidad.

Componiendo diversas fórmulas y orientaciones, se puede llegar a tablas bastante completas. En este caso se ha desarrollado el ejemplo de las tablas de iluminación que se necesitan en nuestro estudio, para Sevilla, en las principales épocas del año. A partir de estas tablas se desarrollará la posterior evaluación global de iluminación, como después veremos.

PROCEDIMIENTOS PARA EL DISEÑO DE EDIFICACIÓN DE ALTA EFICIENCIA ENERGÉTICA PARA LAS TIPOLOGÍAS ARQUITECTÓNICAS BÁSICAS

Hora S	21 DEC		SEVILLA		37.41°N								Hora S
	Radiación Directa				Cielo Despejado			Cielo Parcialmente Nublo			Nublado		
	Normal	Horizon.	Vert. S.	Vert.E/O	Horizon.	Vert. S.	Vert.E/O	Horizon.	Vert. S.	Vert.E/O	Horizon.	Vert.	
8	28648.85	4029.63	16593.18	23004.02	6113.17	7375.18	8848.12	6371.72	5197.58	6551.95	2995.97	1195.57	16
9	62292.61	18263.20	43346.35	40840.15	8825.87	10397.66	10051.10	13281.23	10942.70	10482.05	6244.82	2492.06	15
10	76416.56	31347.82	60014.97	35426.10	10439.92	12647.11	9517.48	18583.09	16163.27	11244.25	8737.74	3486.89	14
11	82603.29	39963.19	69522.04	19822.54	11337.54	14182.58	8143.77	21915.98	20061.39	9744.30	10304.86	4112.27	13
12	84390.46	42945.56	72645.91	0	11627.86	14749.97	6555.54	23052.77	21550.20	7183.40	10839.38	4325.57	12
Hora S	21 JUN		SEVILLA		37.41°N								Hora S
	Radiación Directa				Cielo Despejado			Cielo parcialmente Nublo			Nublado		
	Normal	Horizon.	Vert. S.	Vert. E/O	Horizon.	Vert. S.	Vert. E/O	Horizon.	Vert. S.	Vert. E/O	Horizon.	Vert.	
5	434.86	16.07	0	389.46	3133.94	2039.63	6212.80	1674.57	420.25	2344.54	787.38	314.21	19
6	50671.29	11531.71	0	46981.60	7775.95	4114.14	11570.45	10309.32	2469.14	11204.42	4847.43	1934.42	18
7	77165.61	32269.99	0	69108.81	10540.83	5494.78	14075.86	18944.07	4953.42	18571.83	8907.477	3554.62	17
8	89627.06	53401.06	1426.36	71967.37	12581.80	6748.31	14932.98	26990.37	8105.75	23682.61	12690.83	5064.41	16
9	96302.66	72067.32	9701.93	63137.75	14100.60	7304.22	14361.87	33899.88	10528.41	25732.11	15939.68	6360.90	15
10	100027.84	86562.17	19031.24	46372.10	15163.21	8101.25	12575.97	39201.74	13706.30	24152.67	18432.61	7355.73	14
11	101948.04	95724.57	25133.37	24464.76	15794.64	9659.28	9512.09	42534.63	18428.79	18073.26	19999.72	7981.11	13
12	102543.29	98856.76	27248.25	0	16004.31	11633.07	5170.25	43671.42	23415.32	7805.10	20534.24	8194.41	12

Tablas complementarias para tener en cuenta la iluminación en la Orientación Norte.

Hora S	21 DIC		SEVILLA		37.41°N		21 JUN		Hora S
	Radiación directa	Cielo Despejado	Parcialmente Nublado	Radiación directa	Cielo Despejado	Parcialmente Nublado			
	Vert. N	Vert. N.	Vert. N.	Vert. N	Vert. N.	Vert. N.			
5				192.79	4313.98	1468.98	19		
6		0	0	15077.40	6867.76	5695.08	18		
7		0	0	11711.13	7262.81	7759.33	17		
8		2719.50	916.71	0	6529.07	7688.51	16		
9		2955.59	1050.60	0	5668.58	7004.89	15		
10		2788.50	667.90	0	4276.79	4778.00	14		
11		2558.27	201.66	0	2803.74	1869.47	13		
12		2458.32	0	0	1938.84	0	12		

Como veremos en las tablas de desarrollo del estudio, a continuación, en primer lugar, para el estudio de los campos lumínicos del ámbito de estudio, comenzamos por analizar cual es la iluminación real interior del local sin protecciones solares, y en varios escenarios comunes de actuación que pueden resumirse en dos grandes grupos:

Por un lado, estudiamos el campo lumínico del local en función de la profundidad del local, para la altura solar en invierno (21 de Diciembre).

Por otro, el campo lumínico del local en función de la profundidad del local, para la altura solar en verano (21 de Junio).

Para ambos casos habrá que analizar los mismos cálculos en las cuatro orientaciones principales para la zona vidriada.

Se estudian los niveles de iluminación, debidos a la existencia o no de las protecciones solares anteriormente descritas, en función de varios parámetros:

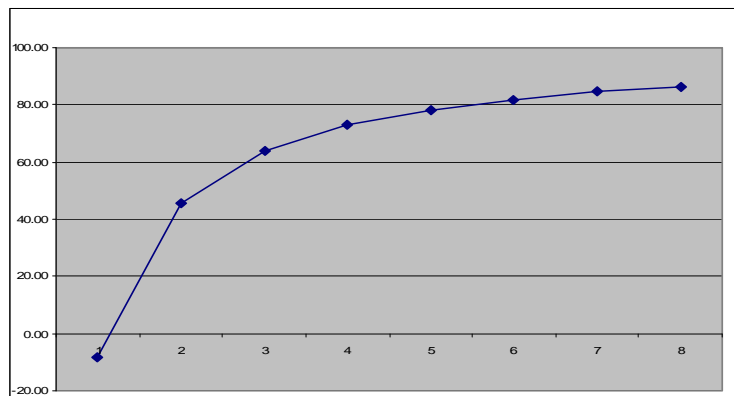
- En función de la profundidad del local
- En función de la orientación geográfica de la fachada acristalada
- En función del periodo del año en que se evalúe
- En función de las posibles condiciones de cielo existentes:
  - Cielo despejado
  - Cielo parcialmente nublado
  - Cielo nublado

En este caso se desarrollarán los campos lumínicos en régimen de verano y también en el de invierno, como hemos comentado anteriormente, por varios motivos. Se está evaluando las respuestas de las protecciones solares donde la severidad climática entendemos que hace que sea provechosa la existencia de estas, en este caso en particular, para Sevilla. Por otro lado, las protecciones solares analizadas han sido estudiadas previamente para conseguir que protejan la radiación solar directa más perjudicial, de verano, y permite la entrada de la radiación directa de primavera, otoño e invierno.

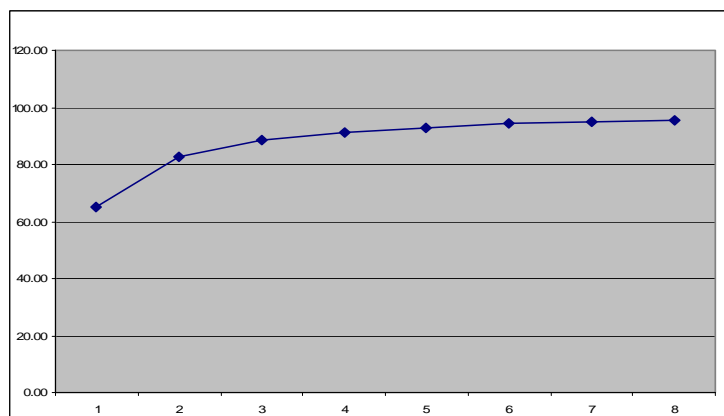
horas	Radiación Directa			Indir. despejado			parcialm. nublado			nublado
	sur	este\oeste	norte	sur	este \ oeste	norte	sur	este \ oeste	norte	sur\este\oeste
5	4.18	159.96	81.29	530.30	1615.33	1121.63	109.27	609.58	381.93	81.69
6	2998.24	21790.88	9029.20	1069.68	3008.32	1785.62	641.98	2913.15	1480.72	502.95
7	8390.20	36033.72	13074.65	1428.64	3659.72	1888.33	1287.89	4828.68	2017.43	924.20
8	14454.82	42671.22	13884.28	1754.56	3882.57	1697.56	2107.50	6157.48	1999.01	1316.75
9	22618.28	43992.60	18737.50	1899.10	3734.09	1473.83	2737.39	6690.35	1821.27	1653.83
10	30118.66	41055.00	22506.16	2106.33	3269.75	1111.97	3563.64	6279.69	1242.28	1912.49
11	34941.74	34674.29	24888.39	2511.41	2473.14	728.97	4791.49	4699.05	486.06	2075.09
12	36602.06	25702.76	25702.76	3024.60	1344.27	504.10	6087.98	2029.33	0.00	2130.55
13	34941.74	34674.29	24888.39	2511.41	2473.14	728.97	4791.49	4699.05	486.06	2075.09
14	30118.66	41055.00	22506.16	2106.33	3269.75	1111.97	3563.64	6279.69	1242.28	1912.49
15	22618.28	43992.60	18737.50	1899.10	3734.09	1473.83	2737.39	6690.35	1821.27	1653.83
16	14454.82	42671.22	13884.28	1754.56	3882.57	1697.56	2107.50	6157.48	1999.01	1316.75
17	8390.20	36033.72	13074.65	1428.64	3659.72	1888.33	1287.89	4828.68	2017.43	924.20
18	2998.24	21790.88	9029.20	1069.68	3008.32	1785.62	641.98	2913.15	1480.72	502.95
19	4.18	159.96	81.29	530.30	1615.33	1121.63	109.27	609.58	381.93	81.69

Al corregir la iluminación del local en función de la profundidad de estudio, obtendremos una tabla como la siguiente para cada una de las profundidades de estudio, que como veíamos en las fichas de las protecciones solares son:

Con lamas



Con voladizo superior e inferior



Así, obtendremos una tabla como a continuación se refleja.

despejado*pv			parcialm.nublado*pv			nublado*pv
sur	norte	este \ oeste	sur	este \ oeste	norte	sureste\oeste
530.30	16.15	1615.33	109.27	609.58	5.50	81.69
1069.68	25.72	3008.32	641.98	2913.15	21.33	502.95
1428.64	27.20	3659.72	1287.89	4828.68	29.06	924.20
1754.56	24.45	3882.57	2107.50	6157.48	28.79	1316.75
1899.10	21.23	3734.09	2737.39	6690.35	26.23	1653.83
2106.33	16.01	3269.75	3563.64	6279.69	17.89	1912.49
2511.41	10.50	2473.14	4791.49	4699.05	7.00	2075.09
3024.60	7.26	1344.27	6087.98	2029.33	0.00	2130.55
2511.41	10.50	2473.14	4791.49	4699.05	7.00	2075.09
2106.33	16.01	3269.75	3563.64	6279.69	17.89	1912.49
1899.10	21.23	3734.09	2737.39	6690.35	26.23	1653.83
1754.56	24.45	3882.57	2107.50	6157.48	28.79	1316.75
1428.64	27.20	3659.72	1287.89	4828.68	29.06	924.20
1069.68	25.72	3008.32	641.98	2913.15	21.33	502.95
530.30	16.15	1615.33	109.27	609.58	5.50	81.69

Como era de esperar, podemos observar que a partir de las 12h. los campos lumínicos vuelven a repetirse de forma simétrica.

Los valores finales serán el resultado de sumar las dos variables existentes:

### **Iluminación Directa + Iluminación Difusa**

La iluminación directa es la que genera la incidencia directa de los rayos solares sobre la superficie de estudio (o sobre las protecciones solares si las tuviera), mientras que la difusa es la generada por el tipo de cielo existente.

Iluminación Directa = Radiación directa por los coeficientes de reflexión y limpieza de cada lama y los respectivos al vidrio, de transmitancia, suciedad e influencia de las carpinterías. Todos estos irán multiplicados por el factor de configuración que depende de la profundidad del habitáculo en que estemos calculando el campo lumínico, más la influencia del campo difuso sobre las lamas, reducidas un 40% debido a las sombras que se generan entre sí las lamas.

**Rad. Directa sobre una sup. Vert. \*0.8\*0.8\*0.8\*0.4\*Porción visible**

**+ Rad. directa de cielo sobre una sup. Vert.\*0.8\*0.8\*0.8\*Porción visible.**

Iluminación Difusa = Radiación indirecta por rebotes en las protecciones solares que hemos colocado. Depende del tipo de cielo simulado por el coeficiente de obstrucción entre lamas, más la iluminación que genera la reflexión de la radiación directa sobre la protección solar. Todo esto irá multiplicado por el factor de configuración que depende de la profundidad del habitáculo en que estemos calculando el campo lumínico.

**Rad. Directa sobre una sup. Horiz.\*0.8\*0.8\*0.26\*0.8\*0.8\*0.8\*0.8\*f. configuración + Rad. directa de cielo sobre una sup. Horiz. \*0.4\*0.8\*0.8\*0.8\*f. configuración**

Finalmente, sumando los campos que genera la iluminación directa a la difusa en función del tipo de cielo simulado, obtendremos **nueve tablas** distintas para cada estación del año que se estudia. Una, como decíamos, por cada tipo de cielo (despejado, parcialmente nublado y nublado), y una por cada una de los escenarios posibles de orientación de la fachada acristalada de estudio (sur, Este / Oeste, Norte). Como por ejemplo, las que se exponen a continuación:

Tablas de Iluminación:

Este \ oeste despejado (verano)								
profundidad	1 metro	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
Horas \ f.config.	0.5365005	0.2704448	0.1421869	0.0799628	0.0480966	0.0306949	0.0205926	0.0144021
5	1698.91	1657.46	1637.48	1627.78	1622.82	1620.11	1618.54	1617.57
6	13090.58	8090.69	5680.38	4511.03	3912.18	3585.16	3395.31	3278.97
7	18490.49	11135.77	7590.27	5870.18	4989.28	4508.24	4228.98	4057.85
8	19326.79	11667.85	7975.70	6184.46	5267.13	4766.19	4475.37	4297.17
9	17283.46	10564.20	7325.03	5753.55	4948.77	4509.29	4254.15	4097.81
10	13221.21	8286.19	5907.15	4752.97	4161.89	3839.11	3651.72	3536.89
11	10523.54	6531.27	4606.71	3673.02	3194.85	2933.73	2782.14	2689.25
12	4236.14	2802.03	2110.69	1775.29	1603.52	1509.72	1455.26	1421.90
13	10523.54	6531.27	4606.71	3673.02	3194.85	2933.73	2782.14	2689.25
14	13221.21	8286.19	5907.15	4752.97	4161.89	3839.11	3651.72	3536.89
15	17283.46	10564.20	7325.03	5753.55	4948.77	4509.29	4254.15	4097.81
16	19326.79	11667.85	7975.70	6184.46	5267.13	4766.19	4475.37	4297.17
17	18490.49	11135.77	7590.27	5870.18	4989.28	4508.24	4228.98	4057.85
18	13090.58	8090.69	5680.38	4511.03	3912.18	3585.16	3395.31	3278.97
19	1698.91	1657.46	1637.48	1627.78	1622.82	1620.11	1618.54	1617.57

Este \ oeste despejado (invierno)

profundidad	1 metro	2.00	3.00	4.00	5.00	6.00	7.00	8.00
Horas \ f.config.	0.5365005	0.2704448	0.1421869	0.0799628	0.0480966	0.0306949	0.0205926	0.0144021
5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
8	23676.96	23343.24	23182.37	23104.32	23064.35	23042.52	23029.85	23022.08
9	42034.86	41442.39	41156.78	41018.21	40947.25	40908.50	40886.01	40872.22
10	36462.43	35948.50	35700.75	35580.56	35519.01	35485.39	35465.88	35453.92
11	20402.41	20114.85	19976.22	19908.97	19874.52	19855.72	19844.80	19838.11
12	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	20402.41	20114.85	19976.22	19908.97	19874.52	19855.72	19844.80	19838.11
14	36462.43	35948.50	35700.75	35580.56	35519.01	35485.39	35465.88	35453.92
15	42034.86	41442.39	41156.78	41018.21	40947.25	40908.50	40886.01	40872.22
16	23676.96	23343.24	23182.37	23104.32	23064.35	23042.52	23029.85	23022.08
17	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Pero analicemos uno de los aspectos más cercanos a cualquier lector, como es el resultado directo del campo de iluminación obtenido si orientamos la zona acristalada al sur. Las tablas obtenidas para el régimen de verano, en función del tipo de cielo (en este caso hemos tomado sur despejado), son estas:

Soleamiento en verano sin protección solar

Sur despejado

horas \ profundidad	1 metro	2	3	4	5	6	7	8
f.configuración	0.536500461	0.270444786	0.142186878	0.079962776	0.048096597	0.030694899	0.020592607	0.014402058
5	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29
6	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44
7	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33
8	4220.38	3840.89	3657.94	3569.19	3523.74	3498.92	3484.51	3475.68
9	8944.85	6363.60	5119.25	4515.55	4206.39	4037.56	3939.55	3879.49
10	14358.11	9294.74	6853.83	5669.63	5063.18	4732.00	4539.74	4421.93
11	18429.62	11742.74	8519.19	6955.29	6154.38	5717.02	5463.11	5307.52
12	20574.83	13325.28	9830.48	8134.98	7266.68	6792.51	6517.24	6348.56
13	18429.62	11742.74	8519.19	6955.29	6154.38	5717.02	5463.11	5307.52
14	14358.11	9294.74	6853.83	5669.63	5063.18	4732.00	4539.74	4421.93
15	8944.85	6363.60	5119.25	4515.55	4206.39	4037.56	3939.55	3879.49
16	4220.38	3840.89	3657.94	3569.19	3523.74	3498.92	3484.51	3475.68
17	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33	2813.33
18	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44	2106.44
19	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29	1044.29

Soleamiento en verano con protección solar mediante lamas

Sur despejado

horas \ profundidad		1 metro	2	3	4	5	6	7	8
	f.configuracion	0.536500461	0.270444786	0.142186878	0.079962776	0.048096597	0.030694899	0.020592607	0.014402058
5		344.81	651.93	758.22	812.59	848.73	875.29	895.76	912.00
6		1191.72	1565.13	1660.91	1713.04	1756.46	1793.94	1825.88	1852.92
7		2102.18	2347.72	2353.59	2364.00	2391.67	2425.17	2458.22	2488.43
8		3250.68	3220.50	3067.81	3003.00	2997.25	3016.69	3044.69	3074.08
9		5739.54	4605.43	3909.17	3581.42	3443.27	3392.28	3380.75	3386.94
10		8282.39	6074.09	4843.67	4257.88	3990.81	3872.09	3823.22	3807.97
11		9929.32	7269.50	5789.54	5084.81	4763.17	4619.86	4560.58	4541.77
12		10497.83	8018.76	6585.52	5906.17	5605.56	5480.34	5436.44	5430.63
13		9929.32	7269.50	5789.54	5084.81	4763.17	4619.86	4560.58	4541.77
14		8282.39	6074.09	4843.67	4257.88	3990.81	3872.09	3823.22	3807.97
15		5739.54	4605.43	3909.17	3581.42	3443.27	3392.28	3380.75	3386.94
16		3250.68	3220.50	3067.81	3003.00	2997.25	3016.69	3044.69	3074.08
17		2102.18	2347.72	2353.59	2364.00	2391.67	2425.17	2458.22	2488.43
18		1191.72	1565.13	1660.91	1713.04	1756.46	1793.94	1825.88	1852.92
19		344.81	651.93	758.22	812.59	848.73	875.29	895.76	912.00

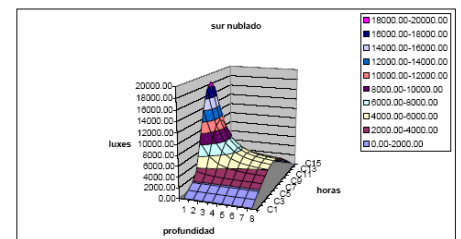
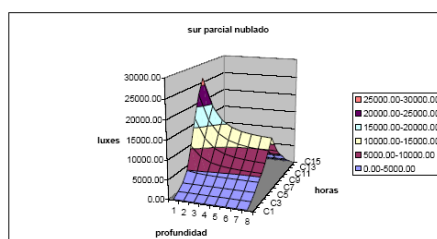
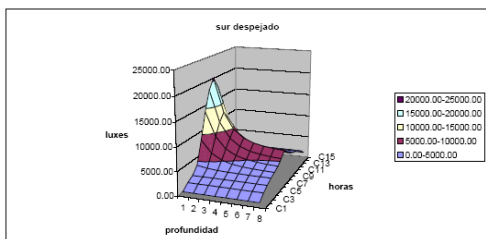
Soleamiento en verano con protección solar mediante voladizos superior e inferior

Sur despejado

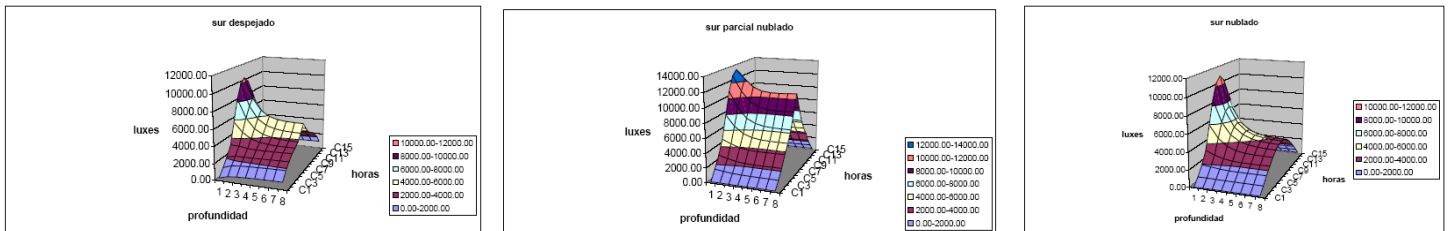
horas \ profundidad		1 metro	2	3	4	5	6	7	8
	f.configuracion	0.536500461	0.270444786	0.142186878	0.079962776	0.048096597	0.030694899	0.020592607	0.014402058
5		1369.71	1209.82	1105.57	1055.89	1033.13	1022.90	1018.60	1017.15
6		4679.51	3406.51	2738.01	2415.51	2255.76	2172.96	2128.18	2103.15
7		8626.75	5747.85	4286.78	3580.38	3225.83	3038.16	2933.59	2872.74
8		13039.36	8291.40	5912.60	4761.53	4180.90	3871.12	3696.67	3593.72
9		19702.41	11791.74	7880.88	5986.77	5026.35	4509.77	4215.71	4039.79
10		26218.40	15279.34	9897.96	7290.79	5966.24	5251.67	4843.31	4597.82
11		30767.20	17969.08	11670.74	8619.39	7069.42	6233.43	5755.83	5468.82
12		32812.86	19502.88	12931.48	9748.54	8133.76	7264.52	6769.19	6472.47
13		30767.20	17969.08	11670.74	8619.39	7069.42	6233.43	5755.83	5468.82
14		26218.40	15279.34	9897.96	7290.79	5966.24	5251.67	4843.31	4597.82
15		19702.41	11791.74	7880.88	5986.77	5026.35	4509.77	4215.71	4039.79
16		13039.36	8291.40	5912.60	4761.53	4180.90	3871.12	3696.67	3593.72
17		8626.75	5747.85	4286.78	3580.38	3225.83	3038.16	2933.59	2872.74
18		4679.51	3406.51	2738.01	2415.51	2255.76	2172.96	2128.18	2103.15
19		1369.71	1209.82	1105.57	1055.89	1033.13	1022.90	1018.60	1017.15

Como podemos ver, tras un primer análisis superficial se puede caer en la opinión prematura de decir que las protecciones solares sólo están reduciendo iluminación total en el local de estudio, ya que como se puede ver el rango de luxes obtenido con lamas es inferior al obtenido con voladizos e inferiores a su vez a los obtenidos sin protecciones solares. Sin embargo, si observamos las gráficas que se obtienen para todos los tipos de cielo, podremos ver de forma muy resumida lo siguiente:

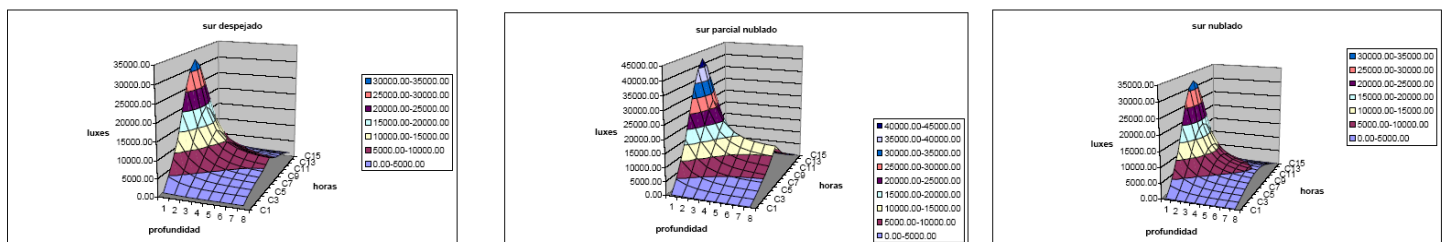
Soleamiento en verano sin protección solar



### Soleamiento en verano con protección solar mediante lamas



### Soleamiento en verano con protección solar mediante voladizos superior e inferior



En el Eje X se encuentra la profundidad de la habitación, desde el punto a distancia "0", a cero metros de la ventana, alejándose del hueco progresivamente, metro a metro, hasta el punto "8", al final de la habitación.

En el Eje Y encontramos el desarrollo de las horas del día, correspondiendo la línea de puntos más altos de la gráfica, a la curva de iluminación generada en el local para las doce horas, hora solar. Hacia la izquierda, la gráfica decrece hacia las horas de la mañana (11:00-10:00-09:00-...), hacia la derecha, la gráfica decrece hacia las horas de la tarde (13:00-14:00-15:00-...).

Los resultados son simétricos según el eje de las doce horas, hora solar, por lo que el resultado de la curva obtenida para las 15:00h. corresponderá con las de las 9:00h. Este dato era ya conocido pero queda reflejado gráficamente de forma muy clarificante, y además nos sirve de cómo comprobación rápida.

Por último, en el Eje Z se encuentra el valor de la intensidad lumínica interior del local (en luxes) para una sección vertical longitudinal del mismo.

Si analizamos en profundidad las gráficas obtenidas se observa que efectivamente, en el resultado de la iluminación interior para un hueco sin protecciones solares, el rango de iluminación en los puntos cercanos al vidrio es mucho mayor que para los obtenidos con protecciones solares basados en lamas, y menor que el obtenido para soluciones de voladizo. Se comprueba así el buen comportamiento de reflexión del voladizo inferior.

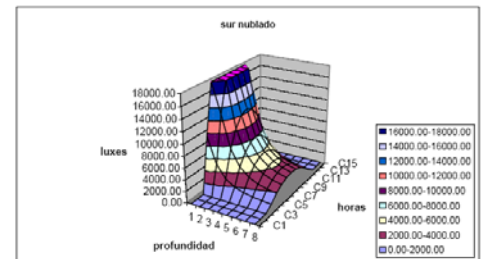
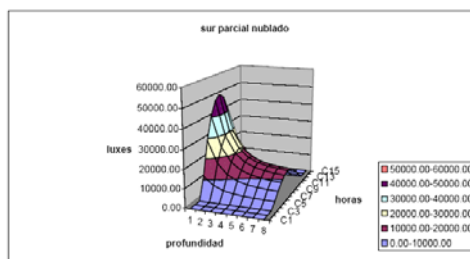
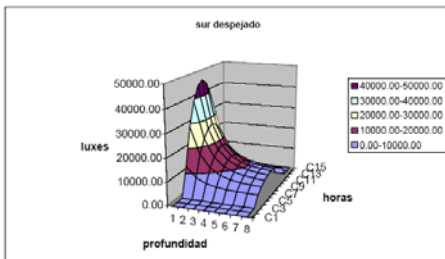
Sin embargo podemos observar claramente que la caída de la curva de iluminación obtenida es muy pronunciada para el escenario de estudio sin protecciones solares, como se amortigua un poco más, aunque a los pocos metros vuelve a caer de forma pronunciada para sistemas de voladizos, y cómo mediante soluciones de lamas se obtiene un campo inicial mucho menor, pero que se vuelve homogéneo durante toda la profundidad del local de estudio, con una caída ínfima.



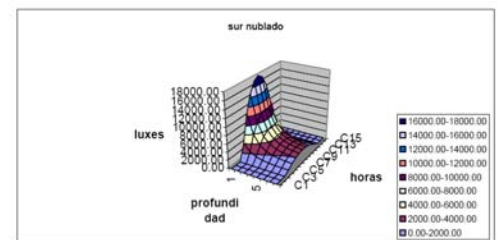
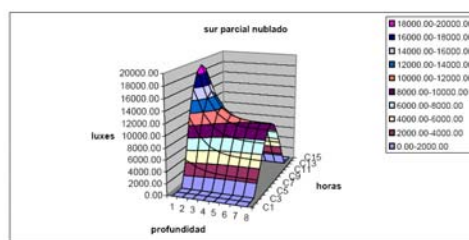
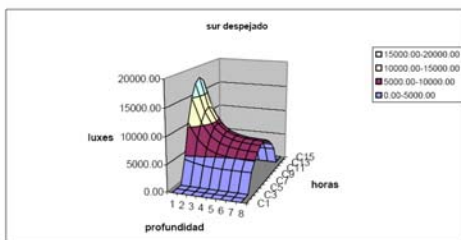
Si unimos estos resultados a los comentados en la fase anterior, referentes a las demandas de carga de refrigeración del local para cada una de las soluciones estudiadas, obtendremos las relaciones entre protecciones solares y su respuesta térmico-lumínica en el interior de un local. Poseemos así, una gran carga de información que poder usar a la hora de definir y proyectar una solución particular.

Analizaremos a continuación el comportamiento obtenido para régimen de invierno.

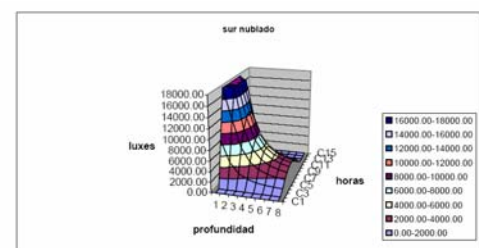
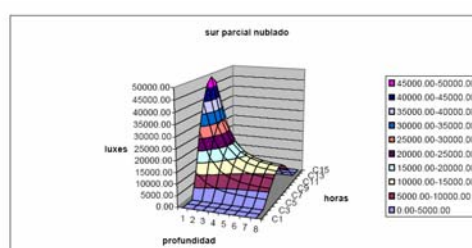
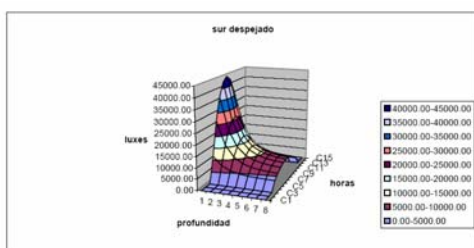
### Soleamiento en invierno sin protección solar



### Soleamiento en invierno con protección solar mediante lamas



### Soleamiento en invierno con protección solar mediante voladizos superior e inferior



Comprobamos como suceden las mismas condiciones de mayor iluminación en zonas cercanas al acristalamiento para soluciones sin protecciones solares o mayor aun para soluciones de voladizos superior e inferior. También se comprueba la rápida caída de la curva de iluminación en estas soluciones mientras que para la solución de protecciones solares basadas en lamas aparece la misma homogeneidad de campo lumínico. Podemos observar también como los límites superiores de iluminación y la profundidad inicial han aumentado. Esto se debe a que en invierno, el ángulo de incidencia solar es menor como todos sabemos, por lo que la radiación directa aumenta de forma considerable.



## ANEXO IX: TERMINOLOGÍA

Para los términos que se han definido en el DB-HE 1 se ha conservado la terminología y la simbología, no incluyéndose en la relación que sigue. Únicamente se contemplan superficies y áreas de uso residencial. Quedan excluidos el resto de usos no residenciales (garajes, locales comerciales, etc.).

**Área de huecos (AH):** Área de huecos acristalados para cada orientación según la *figura 3.1 Orientaciones en las fachadas del DB-HE-1*, en m<sup>2</sup>

**Área total de huecos (ATH):** Área total de huecos acristalados del edificio, en m<sup>2</sup>

**Área de huecos captadores a sur (AHCS):** Área de los huecos orientados al sur que cumplen las dos condiciones de captación solar, multiplicada por el Factor de Corrección FC.

**Área de huecos captadores a sureste (AHCSE):** Área de los huecos orientados al sureste que cumplen las dos condiciones de captación solar, multiplicada por el Factor de Corrección FC.

**Área de huecos captadores a suroeste (AHCSE):** Área de los huecos orientados al suroeste que cumplen las dos condiciones de captación solar, multiplicada por el Factor de Corrección FC.

**Área de muros (AM):** Área de muros para cada orientación, en m<sup>2</sup>. Esta área incluye la de los cerramientos verticales de la envolvente térmica que limitan con locales no habitables. Se incluirá el área de muros medianeros cuando éstos limiten con el ambiente exterior, por ejemplo en el caso en que el solar colindante carezca de edificación.

**Área total de muros (ATM):** Suma de las áreas de muros de cada orientación, en m<sup>2</sup>

**Área total de suelos (ATS):** Área total de suelos encerrados por la envolvente térmica del edificio, en m<sup>2</sup>. Éste área incluye la de los suelos de la envolvente térmica que limitan con locales no habitables, suelos en contacto con el aire exterior y suelos enterrados a una profundidad menor de 0,50 m.

**Área total de cubiertas (ATC):** Área total de cubiertas del edificio (incluidos lucernarios), en m<sup>2</sup>. Este área incluye la de los techos de la envolvente térmica que limitan con locales no habitables.

**Área total de cerramientos en contacto con el terreno (ACT):** Área total de cerramientos del edificio en contacto con el terreno, en m<sup>2</sup>. Este área incluye la de los muros enterrados, cubiertas enterradas y suelos enterrados a una profundidad mayor de 0,50 m.

**Área de transmisión térmica de la envolvente (AT):** Suma del área de todos los cerramientos que limitan la envolvente térmica del edificio definida por el CTE, en el *DB-HE 1*. Deben ser medidas desde la cara interior de cada cerramiento.

**ASSE:** Área de ventanas en orientaciones no Sur equivalentes. Se realiza una equivalencia mediante un factor corrector de las ventanas no orientadas al sur para el análisis de la captación solar directa. Si una ventana al Sur recibe una radiación unidad, la no Sur recibe una radiación igual a  $1 \times FC$  (según la orientación).

**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 ( $V/AT$ )

**Factor corrector de puente térmico (fpt):** Es la corrección al indicador de eficiencia energética del edificio opaco debido a los puentes térmicos de encuentro de la edificación.

**Factor solar (g):** Grados-día de invierno de la localidad en el periodo considerado calculados en base 20.

**Factor de ponderación:** Es el factor por el que hay que multiplicar las prestaciones nominales de un equipo o sistema para obtener sus prestaciones medias estacionales.

**GD<sub>mod</sub>:** Grados día modificados de verano de la localidad y mes considerado calculados en base 25. Esta modificación consiste en el cálculo de los grados día a partir de las temperaturas sol-aire sobre cubierta en vez de a partir de la temperatura de aire.

**GD<sub>noche</sub> :** Grados día de verano de la localidad y mes considerado calculados en base 25. (NOTA: se ha calculado este término en el periodo de la 1 a las 8 horas (noche) calculados como grados día de invierno).

**Indicador de Eficiencia Energética Opaco (IEEopaco):** Es la contribución al indicador de eficiencia energética de demanda de calefacción, debida a las pérdidas a través de los cerramientos para un edificio de idéntica geometría y nivel de aislamiento que el que se quiere calcular, pero con las siguientes peculiaridades:

- Las ventanas han sido sustituidas por parte opaca con una transmitancia igual a la de la fachada en la que aquéllas se encuentran.
- No tiene puentes térmicos ni se introduce ningún caudal de ventilación o infiltraciones.

**Indicador de Eficiencia Energética debido a la Ventilación (IEEvent):** Es la contribución al indicador de eficiencia energética asociado a la tasa de ventilación

requerida por el CTE, *DB-HS 3, Apartado 2, Tabla 2.1 Caudales de ventilación* mínimos exigidos, y a la zona climática donde se ubica el edificio.

**Is:** Radiación global acumulada sobre superficie vertical con orientación sur en el periodo considerado en kWh/m<sup>2</sup>

**Indicador de Eficiencia Energética IESE/SO/E/O:** Es la contribución al Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de Refrigeración debido a las ganancias a través de la superficie acristalada orientada al SE/SO/E/O.

**Indicador de Eficiencia Energética IEES:** Es la contribución al Indicador de Eficiencia Energética de Demanda de Refrigeración debido a las ganancias a través de la superficie acristalada orientada al Sur.

Depende conceptualmente del tipo de equipo o sistema, del clima de la localidad, del edificio en el que está instalado y del nivel de sobredimensionado de la instalación.

**Indicador de Eficiencia Energética IEESC:** Es el Indicador de Eficiencia Energética de sistemas de calefacción.

**Indicador de Eficiencia Energética IEESR:** Es el Indicador de Eficiencia Energética de sistemas de refrigeración.

**Indicador de Eficiencia Energética IEESACS:** Es el Indicador de Eficiencia Energética de los sistemas para agua caliente sanitaria.

**Modificador del Indicador Eficiencia Energética debido a la superficie acristalada ( $\Delta$ IEEhuecos):** Modificación del indicador de eficiencia energética debida a la diferencia de comportamiento entre las superficies acristaladas existentes y la aparte opaca supuesta inicialmente.

**Rendimiento nominal, COP nominal o EER nominal:** Es la relación entre la potencia útil proporcionada y la potencia consumida de un determinado equipo en unas condiciones estándar. Es un dato suministrado por el fabricante.

**Rendimiento ( $\eta$ ) medio estacional, 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.

**Superficie Equivalente de Área Sur (ASSE):** Superficie equivalente de área de ventanas en orientaciones no Sur.

**Superficie útil (SU):** Superficie útil de la vivienda encerrada por la envolvente térmica, en m<sup>2</sup>. En edificios de viviendas se incluirán las zonas comunes si están dentro de dicha envolvente térmica.

**Transmitancia térmica media del edificio opaco Uopaco:** 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.

**Transmitancia térmica media de huecos del edificio (UHme):** Transmitancia promedio de todos los huecos del edificio obtenida como el cociente del sumatorio de los productos de las transmitancias térmicas medias de los huecos de cada orientación por las áreas de huecos en dicha orientación dividido entre el área total de huecos del edificio.

**Transmitancia térmica media de muros del edificio (UMme):** Transmitancia promedio de todos los muros del edificio obtenida como el cociente del sumatorio de los productos de las transmitancias térmicas medias de los muros de cada orientación dividido entre el área total de muros del edificio. Las transmitancias medias de los muros para cada orientación deben incluir el efecto de los puentes térmicos integrados en la superficie de los muros, así como el de los cerramientos de la envolvente térmica que limitan con recintos no habitables, incluyendo en este último caso el coeficiente de reducción de temperatura "b".

**Volumen de la edificación (V):** Volumen en m<sup>3</sup> comprendido por la envolvente térmica de la edificación.

