

Proyecto Fin de Carrera

Grado de Ingeniería en Tecnologías Industriales



Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea.

Autor: Manuel Rosales García

Tutor: José Manuel Salmerón Lissén

Dpto. Ingeniería Energética
Grupo Termotécnica
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019



Proyecto Fin de Carrera
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

**Caracterización del parque edificatorio residencial
en España. Aplicación a la definición de edificios de
referencia en el área mediterránea.**

Autor:

Manuel Rosales García

Tutor:

José Manuel Salmerón Lissén

Profesor titular

Dpto. de Ingeniería Energética – Grupo de Termotecnia

Escuela Técnica Superior de Ingeniería

Universidad de Sevilla

Sevilla, 2019

Proyecto Fin de Carrera: Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea.

Autor: Manuel Rosales García

Tutor: José Manuel Salmerón Lissén

El tribunal nombrado para juzgar el Proyecto arriba indicado, compuesto por los siguientes miembros:

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2019

El Secretario del Tribunal

A mi familia

A mis maestros

Agradecimientos

Durante el proceso de generación de este documento he recibido ayuda de diferentes personas a las cuales me gustaría dedicar unas palabras de reconocimiento. Agradecer a mi tutor José Manuel Salmerón por abrir una ventana a un mundo desconocido para mí, a base de pinceladas de ilusión, altruismo y voluntariedad; y a mi compañero Ángel, siempre dispuesto a echar una mano sea cuando sea. A mi hermana Julia, por sus consejos sobre la materia y por su incesante ayuda en cuidar los detalles, tanto del contenido como de la envolvente. A mis padres Manuel y Fia y mi hermano Alfonso por este largo camino que ha sido la universidad en el cual han estado siempre apoyando y animando. Por último y no menos importante, a mis compañeros/as de la facultad, los cuales han escuchado con paciencia, día tras día, los avances de este proyecto. Se me hace imposible nombrar a todos los que aparecen en mi cabeza así que, sin más dilación, muchas gracias, amigos.

Manuel Rosales García

Sevilla, 2019

El consumo de energía de los edificios residenciales representa el 18% del consumo de energía total en España. Las nuevas reglamentaciones de eficiencia energética en la edificación como el CTE-HE0 y CTE-HE1, van encaminadas a la reducción del consumo y demanda de los edificios de nueva planta, no obstante, el grueso del consumo se sitúa en los edificios existentes. Para ello, es necesario crear una adecuada política energética basada en la rehabilitación de los mismos. La rehabilitación energética de viviendas privadas y edificios residenciales de propiedad pública es de especial importancia y es el objetivo principal del proyecto HAPPEN, contexto en el que se justifica la generación de este escrito. Este documento se centrará en la categorización del parque edificatorio español, disgregados por tipologías constructivas y año de construcción. Posteriormente se generarán los edificios de referencia que serán los representativos de cada zona estudiada, gracias a la agrupación de edificios similares mediante el estudio de los parámetros que sean más críticos en términos de consumo y demanda de energía. La aplicación de estos edificios de referencia vendrá con el cálculo de las soluciones óptimas mediante la modificación de los métodos constructivos y aplicación de mejoras para cuantificar la cantidad de energía ahorrada, tiempo de retorno de la inversión y diferentes parámetros con miras de demostrar lo atractivo que resulta la inversión en rehabilitación de edificios.

The energy consumption of residential buildings represents 18% of the total energy consumption in Spain. The new regulations for energy efficiency in buildings, such as CTE-HE0 and CTE-HE1, are aimed at reducing the consumption and demand of new buildings, however, the bulk of consumption is located in existing buildings. For this, it is necessary to create an adequate energy policy based on their rehabilitation. The energy rehabilitation of private homes and public buildings of public ownership is of special importance and is the main objective of the HAPPEN project, context in which the generation of this writing is justified. This document will focus on the categorization of the Spanish building park, broken down by construction typologies and year of construction. Subsequently, the reference buildings that will be representative of each studied area will be generated, thanks to the grouping of similar buildings through the study of the parameters that are most critical in terms of consumption and energy demand. The application of these reference buildings will come with the calculation of optimal solutions by modifying the construction methods and applying improvements to quantify the amount of energy saved, time of return on investment and different parameters in order to demonstrate the aversive the investment in building rehabilitation results.

1 ÍNDICE

1 INTRODUCCIÓN	20
1.1 Objetivos.....	20
2 ESTADO DEL ARTE DE LA GENERACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA.....	21
2.1 Estudios realizados en EEUU sobre Edificios de Referencia	21
2.2 Proyectos Europeos sobre Edificios de Referencia.....	22
2.3 Estudios Nacionales sobre Edificios de Referencia.....	24
3 METODOLOGÍA DE ANALISIS PARA GENERACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA ..	25
3.1 Definición de edificio de referencia.....	25
3.2 Caracterización de los edificios de referencia	25
3.3 Análisis climático de la zona mediterránea europea.....	26
3.4 Metodología.....	31
3.5 Resultados.....	34
3.6 Utilidad y aplicaciones de los resultados.....	35
4 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE EDIFICATORIO ESPAÑOL.....	35
4.1 Parámetros Geométricos.....	36
Tipología y uso	36
Forma de la planta	38
Superficie construida	38
Número de plantas	39
Superficie de envolventes.....	39
Compacidad	41
4.2 Parámetros Térmicos y Sistemas.....	42
Transmitancia térmica de los cerramientos	43
Estanqueidad o Air Tightness.....	43
Rendimientos de sistemas de acondicionamiento y producción de ACS.....	44
Transmitancia térmica lineal de puentes térmicos	49
4.3 Tabla resumen de los estudios citados.....	51
5 ANALISIS DE AGRUPACION DE EDIFICIOS DE REFERENCIA (CLUSTERS)	52
5.1 Número total de casos.....	53
5.2 Representante de cada Cluster.....	54
6 APLICACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA.....	57
6.1 Implementación de mejoras y búsqueda de coste óptimo	57
7 . ANEXO A	59
8 ANEXO B	60
8.1 España.....	60
Fuentes	61

8.2	Francia.....	62
	Fuentes	65
8.3	Eslovenia.....	66
	Fuentes	70
8.4	Croacia.....	71
	Fuentes	73
8.5	Italia.....	74
8.6	Chipre.....	76
	Fuentes	77
8.7	Grecia.....	78
	Fuentes	79
9	ANNEX C	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Intervalos de severidad climática para invierno y verano	27
Tabla 2: Ciudades europeas con información de estación meteorológica	28
Tabla 3: Miles de construcciones en función del periodo y cantidad de viviendas que incluyen [26]	37
Tabla 4: Miles de viviendas en función del periodo y cantidad de metros cuadrados de la planta. [26]	38
Tabla 5: Metros cuadrados que necesitan satisfacer el confort en función del tipo y periodo. [23]	39
Tabla 6: Metros cuadrados medios en edificios con solo una vivienda familiar en Madrid. [22]	40
Tabla 7: Metros cuadrados medios en edificios con varias viviendas familiares en Madrid. [22]	40
Tabla 8: Indicadores geométricos en función del tipo de construcción. Canillas, Madrid. [27]	41
Tabla 9: % de metros cuadrados totales de agua caliente sanitaria en función del combustible utilizado para SFH en Madrid. [22]	45
Tabla 10: % de metros cuadrados totales de agua caliente sanitaria en función del combustible utilizado para MFH en Madrid. [22]	46
Tabla 11: Número total de equipos en función de la zona climática. [32]	46
Tabla 12: Número total de equipos en función del tipo de vivienda. [32]	47
Tabla 13: Número de clusters por variable	52
Tabla 14: Clusters totales	53
Tabla 15: RBs de cada cluster para una situación de 9 clusters	54
Tabla 16: RBs de cada cluster para una situación de 4 clusters	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Gráfica 1. Punto de coste óptimo y rango de coste efectivo (Ballarini et al. 2014) [1]	20
Figura 1: Cuatro subconjuntos de características para definir modelos de construcción de referencia según la metodología propuesta por Corgnati [21]	26
Figura 2: Mapa europeo con índices SCI de invierno	29
Figura 3: Mapa europeo con índices SCI de verano	29
Figura 4: Zonas climáticas europeas	30
Figura 5: Distribución Territorial de las Zonas Climáticas en España. [25]	31
Gráfica 2: Porcentaje de número de tipo de viviendas en función del clima. [25]	31
Gráfica 3: Porcentaje de viviendas construidas en función del periodo de construcción y la zona climática. [25]	31
Gráfica 4: Niveles de estanqueidad (medidos por el método n50) de SFH en el último siglo. [2] Fuente: DK- SBi, CZ –SEVEn, DE- IWU, BG-BSERC	44
Gráfica 5: Evolución histórica de las fuentes de energía en la UE en el sector residencial. [4]	47
Gráfica 6: Fuentes de energía utilizadas en UE en el sector residencial en función de la región. [4]	48
Gráfica 7: Sistemas de Calefacción por zona climática. [25]	49
Gráfica 8: Sistemas de ACS según zona climática. [25]	49
Gráfica 9: Sistemas de Refrigeración por zona climática y tipo de vivienda. [25]	49
Figura 6: Dendrograma de agrupamiento jerárquico para los 6 RB de cada uno de los 7 países (42 edificios diferentes)	56
Figura 7: D. D'Agostino, D. Parker / Energy 149 (2018) 814-829 [36]	57
Figura 8: Ejemplo de nube de puntos del costo de energía, obtenida para bloque de apartamentos ubicado en Viena (perspectivas financieras 2011, escenario "Referencia"). Paolo Zangheri et al. [37]	58



NOTACIÓN

1 INTRODUCCIÓN

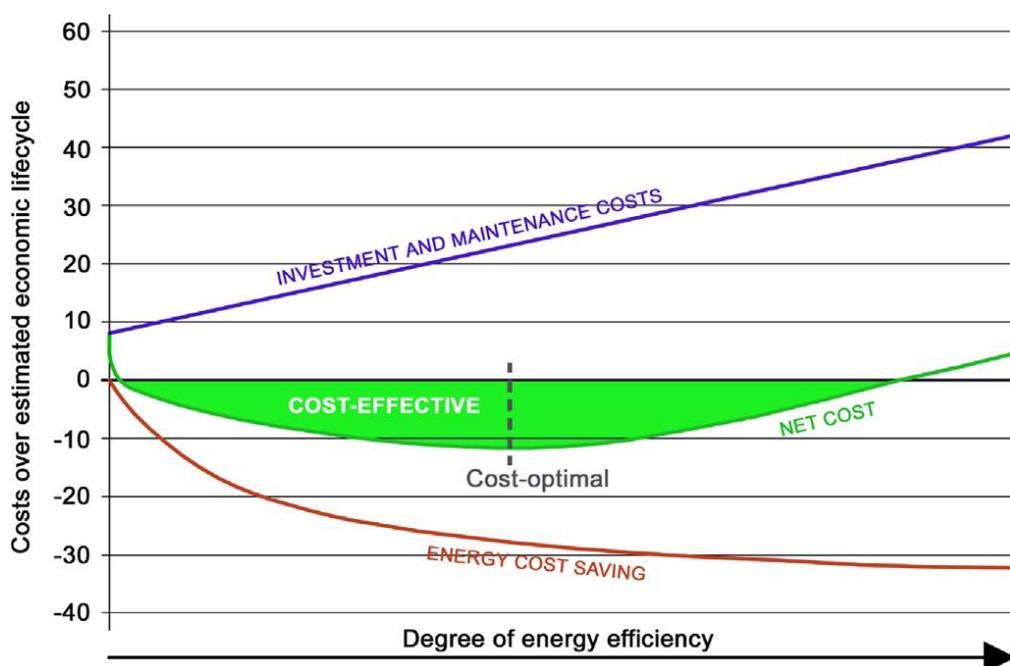
1.1 Objetivos

El análisis actual está focalizado a lograr la clasificación y categorización del stock de edificios existentes de los países europeos del Mediterráneo a través de seis tipos diferentes de edificios de referencia. Además, en función de los resultados del análisis actual, los edificios representativos se describirán en detalle para permitir el análisis de simulación de los rendimientos energéticos en su estado actual y con la aplicación del conjunto definido de soluciones técnicas para la renovación de edificios. Esta última parte del trabajo se escapa del rango de estudio de este documento, aunque servirá de punto de partida para el estudio de mejoras constructivas en busca del estado óptimo de las construcciones en términos económicos y de ahorro energético.

La Unión Europea está comprometida a reducir las emisiones de gases de efecto invernadero entre un 80% y un 95% por debajo de los niveles de 1990 para el año 2050. Se espera que los edificios con mayor rendimiento energético y el uso de fuentes de energía renovables en los edificios nuevos y existentes desempeñen un papel importante para lograr este objetivo. Este enfoque está bien fundamentado, ya que el consumo de energía en los edificios representa aproximadamente el 40% del consumo final total de energía en Europa y la proporción de hogares es del 27% del total. En España en particular, el consumo energético en hogares supone el 18% del consumo total del país, siendo este un porcentaje menor que la media europea.

Con el fin de tener un impacto práctico en la reducción del consumo de energía en los edificios, la Directiva de rendimiento energético de los edificios (EPBD) obliga a los Países Miembros (PM) a definir los requisitos mínimos de rendimiento energético de los edificios y los métodos constructivos de los edificios con el fin de llegar a formas constructivas que alcancen niveles de coste óptimo.

El término "coste óptimo" se define como el rendimiento energético que conlleva el costo más bajo durante el ciclo de vida de la mejor estimado. Al mismo tiempo, amplía el concepto de coste óptimo a coste efectividad, como se muestra gráficamente en la Gráfica 1.



Gráfica 1. Punto de coste óptimo y rango de coste efectivo (Ballarini et al. 2014) [\[1\]](#)

Dado que el parque edificatorio del Mediterráneo europeo se caracteriza por una gran diversidad de viviendas y sistemas de suministro de energía de confort, no es posible calcular la rentabilidad óptima para cada edificio. Por esta razón, se requiere que los Estados Miembros definan un conjunto de edificios de referencia (RB), como edificios nacionales o regionales típicos. Debido a la solicitud de EPBD, la generación de los RB se ha convertido en un tema crucial para los estudios que evalúan el rendimiento energético.

Una vez que se definen los RB y se calculen los rendimientos energéticos y consumos de los diferentes edificios típicos de cada zona, dando así la línea base de rendimiento energético (objetivos principales de este documento) el procedimiento de investigación continuará con los siguientes pasos:

- 1. definición de medidas de mejora que se aplicarán a los edificios de referencia;
- 2. Cálculos de rendimiento energético para evaluar el consumo energético después de las medidas de actualización;
- 3. Cálculo de los costes del ciclo de vida utilizando el Valor Actual Neto (VAN); y
- 4. finalmente, la evaluación del conjunto de medidas de coste óptimo (y rentable) para optimizar (y aumentar) el rendimiento energético de los edificios de referencia.

La elección y la evaluación de diferentes RB conducen a múltiples curvas en los resultados de la metodología de costo óptimo. Dependiendo del tipo de RB seleccionado en cualquier situación particular, esto puede resultar en diferentes recomendaciones para medidas de eficiencia energética.

Los edificios de referencia serán los escogidos como los más representativos del parque edificatorio. Para ello se realiza el siguiente estudio con miras de definir lo más fidedigno posible el parque de edificios español y europeo. De los diferentes artículos mostrados a continuación, se desprende información estadística y descriptiva sobre los edificios existentes de la cual podremos generar nuestros edificios de referencia.

2 ESTADO DEL ARTE DE LA GENERACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA

En esta parte del documento se presentan y se comparan los diferentes estudios sobre la generación de edificios de referencia. De ellos se desprenden los parámetros más importantes que caracterizan el parque edificatorio y el peso que tienen dichos parámetros para generar los RB de la forma más fidedigna posible.

2.1 Estudios realizados en EEUU sobre Edificios de Referencia

En los Estados Unidos, el Departamento de Energía [\[10\]](#) (DOE, por sus siglas en inglés) creó 16 modelos RB que caracterizan más del 60% del inventario de edificios comerciales en los EE. UU. Estos modelos pretenden representar de manera realista las características y prácticas de construcción de los edificios. Incluían 15 edificios comerciales y un edificio residencial multifamiliar y se clasificaron en tres períodos de construcción (anteriores a 1980, posteriores a 1980 y nuevos edificios). Los datos recopilados para crear RB se pueden compilar en cuatro áreas principales que constituyen un conjunto más amplio de características: forma (tipo de edificio, tamaño y geometría general), envolvente (tecnologías y material de construcción), sistema (sistemas de calefacción y refrigeración, sistemas de ventilación mecánica), sistemas de generación y producción a partir de fuentes renovables) y operación (parámetros operacionales que afectan el uso del edificio). La investigación realizada tuvo como objetivo evaluar nuevas tecnologías, optimizar diseños, analizar controles avanzados, desarrollar códigos y estándares de energía y realizar estudios de iluminación, iluminación diurna, ventilación y calidad del aire interior.

2.2 Proyectos Europeos sobre Edificios de Referencia

El proyecto de la UE más conocido en relación con los RB es TABULA [\[2\]](#) ("Typology Approach for Building Stock Energy Assessment"). Es un proyecto, apoyado por Intelligent Energy Europe (IEE), cuyo objetivo es lograr una estructura armonizada para crear tipologías nacionales de construcción capaces de facilitar la comparación de las poblaciones de edificios entre países.

En el proyecto TABULA, se hace hincapié en la evaluación y la mejora del rendimiento energético de los edificios: así, el concepto de tipología se centra en los parámetros de construcción relacionados con el consumo de energía.

Por lo tanto, se desarrollaron tipologías de edificios residenciales en 13 países europeos siguiendo una estructura metodológica común al definir un conjunto de cinco parámetros relacionados con la clasificación de edificios.

Estos parámetros son los siguientes: país, región o zona climática, clase de año de construcción (se deben definir diferentes períodos de construcción para cada país por separado, reflejando los cambios en las formas de construcción y los requisitos de energía según las normas de construcción), tipo de edificio (son considerado cuatro tipos de edificio diferentes en el proyecto: casas unifamiliares, casas adosadas, casas multifamiliares, bloques de apartamentos) y otros parámetros relevantes para la energía (valores U, sistema de calefacción, etc.), así como un conjunto de edificios ejemplares que representan los respectivos tipos de construcción.

Por supuesto, cada país podría, según las características específicas de determinados grupos de edificios, examinar categorías que no cumplen totalmente con los indicadores propuestos, pero son importantes para el país debido a otras razones específicas.

Otro es el proyecto ASIEPI [\[3\]](#) ("Assessment and improvement of the EPBD Impact"), cuyo objetivo es desarrollar un instrumento para realizar comparaciones significativas de los requisitos mínimos de rendimiento energético en los países miembros individuales y probar este instrumento con una selección limitada de RBs.

Se definió una casa unifamiliar, con variedad de ser una casa adosada, para cada país participante. La casa unifamiliar fue elegida un valioso RB principalmente por dos razones. En primer lugar, porque representa el edificio residencial más típico de Europa y, en segundo lugar, se prefirieron las casas pequeñas y sencillas para realizar estudios de comparación con el fin de minimizar los errores de una geometría compleja.

El Buildings Performance Institute Europe (BPIE) [\[4\]](#) ha realizado una amplia encuesta en todos los Estados miembros de la UE. Esta encuesta proporciona una imagen a escala de la UE del parque de construcción europeo. BPIE utilizó en su estudio una caracterización de edificio basada en la tipología de edificio (tipo de función), edad del edificio, tamaño del edificio y ubicación del edificio. Esta caracterización corresponde a los datos estadísticos proporcionados por los países de la UE participantes.

Dentro del proyecto IMPRO-Building [\[5\]](#), los datos se recopilaron de varias fuentes y se armonizaron para definir una tipología adecuada de stock de construcción basada en varios aspectos (por ejemplo, población, tipo de edificio, edad, estructura). El objetivo general del proyecto fue el análisis de los potenciales de mejora ambiental de los edificios residenciales. La base de datos cubrió 25 Estados miembros de la UE y definió 72 tipos de edificios (53 edificios existentes y 19 tipos de edificios nuevos).

Esto llevó a construir modelos distribuidos en tres tipos de edificios: casas unifamiliares (incluidas casas de dos familias y casas adosadas), casas multifamiliares (edificios con menos de 9 pisos) y edificios de

gran altura (edificios que son más altos que 8 pisos). Los edificios también se definieron de tal manera que se distribuyeran en tres zonas principales en Europa que representan aproximadamente tres zonas climáticas según los días de grado de calentamiento (HDD). Las tres categorías de edad para los edificios se establecen como el nivel agregado más alto para cada país: hasta 1945 (edificios antiguos), entre 1946 y 1990 (edificios de posguerra) y después de 1991 (edificios actuales y nuevos). La descripción también cubrió la composición del material utilizado en los diferentes elementos de construcción (techos, paredes exteriores e interiores, sótanos/cimientos, pisos, ventanas/puertas).

El análisis del tipo de uso implicó la representación de datos referentes a la demanda de energía de calefacción y refrigeración. Dado que la atención se centró en el análisis de los potenciales de mejora del diseño de edificios en lugar de los sistemas HVAC (calefacción, ventilación y aire acondicionado), se definió un sistema de calefacción estándar para todos los tipos de edificios. Las diferencias en la demanda de calefacción de los diferentes tipos de edificios solo se deben al diseño de cada edificio, a la composición del material de construcción y a la región climática.

El COST Action C16 [\[6\]](#) "Improving the quality of existing urban building envelopes" se dirige a bloques residenciales de varias plantas a partir del período posterior a la Segunda Guerra Mundial, especialmente los construidos durante el período en que la necesidad de vivienda en Europa era mayor. Es por eso que la COST Action C16 se centró en el período 1950 a 1980.

En la modernización de casas pasivas (Passive House Retrofit) [\[7\]](#), los emprendimientos de vivienda social en 14 países tuvieron la oportunidad de beneficiarse de un kit de herramientas diseñado para ayudarles a realizar la modernización de tal manera que reduzcan considerablemente el consumo de energía primaria. El kit de herramientas incluye las mejores prácticas, los estándares "Passivhaus" y una metodología de implementación. Los métodos de adaptación incluyen mejor aislamiento, hermeticidad y ventilación equilibrada que abarca el enfriamiento en climas del sur. Esta fuente de información se utiliza como base para evaluar las posibilidades de la modernización de casas pasivas. Las tipologías de los 5 países socios (Austria, Dinamarca, Lituania, España y los Países Bajos) son diferentes en cuanto al número de tipos de edificios y la forma en que se realiza la tipología. Para todas las tipologías de edificios, se ha centrado la atención en los edificios desde 1950 hasta 1980-90.

El proyecto ENTRANZE [\[8\]](#) proporciona análisis de datos y directrices para promover la introducción de edificios de energía casi cero (Near Zero) en el parque de edificios existente en la UE. Entre todos los datos recopilados que están disponibles a través de una herramienta en línea, el porcentaje de viviendas por período de construcción y por tipo de edificio (individual o multifamiliar) y el área de piso promedio por tipo de edificio son útiles para los estudios de evaluación de riesgos.

El proyecto GE2O [\[9\]](#) define geo-clusters en todos los países de la UE con el fin de desplegar el potencial de edificios en eficiencia energética. Los geo-grupos son amplias áreas transnacionales con tipologías de construcción, condiciones climáticas, situación macroeconómica y marco regulatorio similares. Se desarrolló una herramienta de mapeo basada en la visualización de datos con respecto a la edad de construcción y uso (residencial o no residencial) de los edificios.

2.3 Estudios Nacionales sobre Edificios de Referencia

También hay varias publicaciones de cada uno de los países miembros, destinadas a evaluar el consumo de energía, las emisiones y el ahorro potencial de energía de las existencias de edificios. Aunque no existe una norma con respecto al proceso para determinar edificios de referencia, la mayoría de los estudios aplican procedimientos similares para obtenerlo.

Por ejemplo, Balaras et al. 2007 [\[11\]](#) y Dascalaki et al. 2010 [\[12\]](#) examinó edificios residenciales

Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



helénicos. La división de RB se llevó a cabo según el período de construcción (anterior a 1980, 1981-2001 y 2002-2012), tipo de edificio (edificios de baja altura con uno o dos pisos, edificios de gran altura con más de dos pisos) y zona climática (cuatro zonas). Se definieron subcategorías adicionales con características comunes, incluidas las propiedades térmicas del edificio y los sistemas de climatización. La metodología adoptada para establecer estas categorías de edificios residenciales asigna a cada uno de ellos un edificio real existente considerado como representativo de todos los edificios en la clase dada. Por otro lado, Theodoridou et al. 2011 [13] examinó el stock de edificios residenciales griegos. La clasificación propuesta se basa únicamente en el período de construcción e identificaron cinco clases, es decir: clase A (1919–1945), clase B (1946–1980), clase C (1981–1990), clase D (1991–2010) y clase E (2010-2011). Dicha elección se basa en la consideración de que la edad de la construcción proporciona más información sobre las tipologías de los edificios, los materiales de construcción, las plantas y los aparatos utilizados y la práctica de construcción aplicada. Los investigadores en realidad siguieron esquemas de caracterización similares adoptados en países como Alemania y Suiza (Hassler 2009) [14].

Además, Balaras et al. en 2004 [15] realizaron un análisis más amplio sobre el consumo de energía de 193 stocks de edificios residenciales en cinco países europeos. Tommerup y Svendsen. en 2006 [16] examinaron el stock de edificios residenciales daneses. Se referían a dos edificios típicos: una casa unifamiliar y un edificio multifamiliar.

Uihlein y Eder 2010 [17] examinaron las existencias de edificios residenciales europeos (UE27) y propusieron para cada uno de los países un modelo que representa el desarrollo de las existencias relativas de edificios. Más detalladamente, se han identificado tres tipos diferentes de edificios, es decir, unifamiliares, multifamiliares y de gran altura. Estas clases se han dividido en tipos de edificios históricos y nuevos desde 1900 hasta 2006. Fracastoro y Serraino 2011 [18] examinaron el rendimiento energético de las existencias de edificios residenciales de dos grandes regiones italianas, Piamonte y Lombardía. La encuesta se llevó a cabo sobre la base de los datos recopilados por el censo italiano, de modo que se consideraron 72 geometrías de edificios diferentes, junto con 4 categorías diferentes de edad de construcción, 11 eficiencias del sistema de calefacción y un número variable de categorías de días-grado (DD) Con un paso elegido de 100 DD. Ana Brandao de Vasconcelos et al 2015 [19] propuso una metodología que satisface las necesidades y la falta de información existente en la definición de edificios de referencia en Portugal. Esta metodología se implementó con éxito para definir un edificio de referencia (casa familiar) representativo de los edificios residenciales construidos en Lisboa entre 1961 y 1990. En este estudio se da más importancia a los parámetros relacionados con el tipo de función de edificio, la ubicación del edificio y el período de construcción, en lugar de otros parámetros utilizados en otros enfoques.

Aline Schaefer y Eneir Ghisi (2016) [20] desarrollaron un método para obtener edificios de referencia para las viviendas de bajos ingresos en Florianópolis, sur de Brasil. La recolección de datos de campo se realizó para construir una base de datos sobre características geométricas de las casas. Se obtuvieron dos edificios de referencia mediante el análisis de conglomerados: una casa de 76 m², con sala de estar, cocina y tres dormitorios, y una casa de 37 m², con sala de estar y cocina combinadas y dos dormitorios. Las simulaciones han demostrado que los edificios de referencia pueden representar su grupo de manera adecuada, ya que los valores obtenidos para ellos fueron similares a la muestra de la mediana de la vivienda.

De todo lo anterior, podemos concluir que la comunidad técnica/científica ha adoptado diferentes criterios para definir las muestras para la caracterización de RB. Sin embargo, los criterios de clasificación para el rendimiento energético de los edificios se pueden resumir en tres aspectos: la zona climática, el año de construcción y el tipo y las características geométricas y termofísicas de los edificios.

Para el parque edificatorio español existen diversos estudios nacionales que describen, con diferentes profundidades y ámbitos, la caracterización de diferentes edificios. Gracias a la valoración de

estudios estadísticos (con miras de poder saber qué construcción es más abundante, el cual será nuestro RB) y estudios descriptivos (con el objetivo de poder describir cómo están contruidos los RB)

3 METODOLOGÍA DE ANALISIS PARA GENERACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA

El análisis se centró en la recopilación de datos y el análisis estadístico sobre las características generales de calefacción, ACS, refrigeración, construcción y detalles geométricos de las existencias de edificios residenciales en los países del Mediterráneo Europeo (MED). Inicialmente, se recopilaron datos útiles de proyectos internacionales, europeos y regionales, publicaciones y bibliografía técnica sobre este tema, con el objetivo de definir un conjunto de edificios de referencia. Después de la búsqueda de información, este documento se centrará en la clusterización de los edificios obtenidos, limitando la cantidad de RB dispuestos a análisis. Estos se utilizarán como edificios prototipo en el análisis de la efectividad de las soluciones que se quieran implantar, en búsqueda del punto de coste óptimo para ese edificio.

3.1 Definición de edificio de referencia

De acuerdo con el Anexo III de la refundición de la EPBD, los RB son “edificios caracterizados por su funcionalidad y ubicación geográfica y parámetros representativos de ellos, incluidas las condiciones climáticas interiores y exteriores” y, por lo tanto, pretenden representar el stock de edificios típico y promedio en términos de condiciones climáticas y funcionalidad (ej. edificios residenciales, escuelas, etc.). Las directrices adjuntas de la EPBD también establecen que "el principal objetivo de un RB es representar el inventario de construcción típico y promedio en un determinado país".

Por lo tanto, los RB deben establecerse para reflejar, con la mayor precisión posible, el parque nacional actual para garantizar que los resultados sean representativos.

3.2 Caracterización de los edificios de referencia

El parque de construcción europeo es muy heterogéneo en términos de zonas climáticas, estilos de construcción y uso. De hecho, dentro de la misma categoría, la operación del edificio puede variar ampliamente entre los diferentes Países miembros (PM). Las condiciones climáticas tienen una influencia relevante en las tecnologías de construcción y las necesidades energéticas que caracterizan el edificio.

Más específicamente, los datos recopilados para crear RB, se pueden clasificar en cuatro áreas principales de investigación, como se detalla a continuación:

1. Forma: tipo de edificio (por ejemplo, oficina, escuela, etc.), tamaño y geometría general del edificio;

2. Envoltente: tecnologías de construcción y materiales utilizados en el edificio;

3. Sistema: sistemas de calefacción y refrigeración, sistemas de ventilación mecánica (cuando corresponda), sistemas de generación y producción a partir de fuentes renovables;

4. Operación: parámetros operacionales que afectan el uso del edificio (es decir, el programa de iluminación, el programa del equipo, el programa de temperatura de calefacción, etc.).

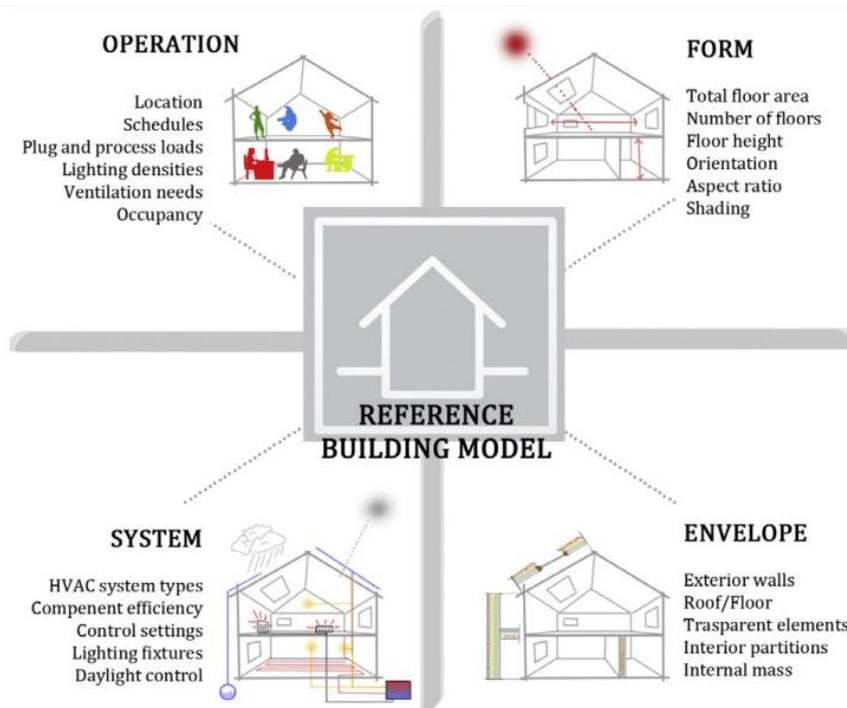


Figura 1: Cuatro subconjuntos de características para definir modelos de construcción de referencia según la metodología propuesta por Corgnati [21]

Además, los datos recopilados se clasifican posteriormente en términos de edad, ubicación y tipo.

Según Corgnati et al 2013 [21], existen tres metodologías para clasificar las RB:

- “Edificio de ejemplo (referencia)”. Esta metodología se utiliza cuando no se dispone de datos estadísticos, por lo que se basa en el supuesto y los estudios de los expertos. El resultado es un edificio que es el más probable de un grupo de edificios, dentro de una ubicación y edad seleccionadas.
- “Edificio Real (Referencia)”. El RB es el edificio más típico en una determinada categoría. Es un edificio real existente, con características promedio basadas en análisis estadístico.
- “Edificio teórico (de referencia)”. Este método procesa datos estadísticos para definir un RB como un compuesto estadístico de las características que se encuentran dentro de una categoría de edificios en el stock. Por lo tanto, el edificio está hecho de los materiales y sistemas más utilizados.

La elección entre estas opciones debe depender de consultas de expertos y disponibilidad de datos estadísticos. Es posible utilizar diferentes enfoques para diferentes categorías de edificios, a fin de identificar edificios de referencia (reales o virtuales) capaces de representar las características (geometría, envolvente, sistemas, etc.) de cada categoría específica de edificio.

3.3 Análisis climático de la zona mediterránea europea

En este punto se presentará la clasificación de los diferentes climas presentes en la zona mediterránea europea y cual ha sido la metodología seguida para la obtención de esa clasificación. Después de presentar la información de rango europeo, nos centraremos en hacer un desglose de los climas presentes en España.

Se utilizan diferentes métodos para la zonificación climática en áreas urbanas teniendo en cuenta diferentes parámetros climáticos. En general, todos los esquemas de zonificación climática dividen el área examinada en regiones homogéneas con un alcance para caracterizar la partición de la energía necesaria

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



en cada zona. Un esquema completo debe tomar en consideración las propiedades del clima, las propiedades físicas de la estructura de la superficie, las características del edificio, los tipos de uso del suelo y las actividades.

El análisis de las condiciones externas de las demandas de refrigeración y calefacción de un edificio determinado podría estudiarse de manera fácil y clara utilizando el concepto de índice de severidad climática. El Índice de severidad del clima (CSI) se utiliza para predecir los requisitos energéticos dependientes del clima de un edificio en un período de tiempo determinado.

En este trabajo, se emplea el método de CSI, considerando los datos de toda Europa, así como las observaciones climáticas existentes en los países mediterráneos. De la distribución espacial de los valores CSI, se deriva la clasificación climática. La clasificación que se presenta a continuación clasifica los climas con respecto a lo frío que sea su invierno y lo caliente que sea su verano, catalogando cada clima de forma WX-SX siendo las “X” el número de severidad climática (a mayor número, mayor severidad climática).

Winter				
Winter 0	Winter 1	Winter 2	Winter 3	Winter 4
CSI < 0	0 ≤ CSI < 0.522	0.522 ≤ CSI < 1.52	1.52 ≤ CSI < 2.77	2.77 ≤ CSI
Summer				
Summer 0	Summer 1	Summer 2	Summer 3	Summer 4
CSI < 0	0 ≤ CSI < 0.508	0.508 ≤ CSI < 1.34	1.34 ≤ CSI < 2.00	2.00 ≤ CSI

Tabla 1: Intervalos de severidad climática para invierno y verano

Para el cálculo de los valores de severidad climática (CSI) se utilizan las siguientes ecuaciones

$$HDD = \sum_{days} (THDDbase - T_{out})$$

$$CDD = \sum_{days} (T_{out} - TCDDbase)$$

$$WCSI = a \times HDD + b \times \frac{n}{N} + c \times HDD^2 + d \times \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e$$

$$SCSI = a \times CDD + b \times \frac{n}{N} + c \times CDD^2 + d \times \left(\frac{n}{N}\right)^2 + e$$

Donde HDD y CDD son los días en grados para calentar / enfriar usando la misma temperatura base de 20 ° C para los meses de invierno (de octubre a mayo) y los meses de verano (de junio a septiembre), mientras que n / N es la relación del real horas de sol (n) y las horas de sol máximas (N) para esa latitud y para los meses respectivos. Estos conjuntos de entradas se han obtenido del año meteorológico típico para cada ubicación.

Dado que la evaluación se realizó en todo el mapa europeo, podemos mostrar los datos obtenidos tanto para el continente completo como para la parte mediterránea. Podemos observar la distribución de los climas presentes gracias a los datos aportados de diferentes estaciones meteorológicas presentes en Europa que detallamos a continuación.

Number	Cities	Number	Cities
01	Lyon	17	Kerkyra
02	Strasbourg	18	Athens

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



03	Marseille	19	Larissa
04	Paris	20	Thessaloniki
05	Grenoble	21	Pazin
06	Bordeaux	22	Rijeka
07	Tarbes	23	Gospic
08	Clermont-Ferrand	24	Dubrovnik
09	Tours	25	Zadar
10	Besancon	26	Varazdin
11	Lille	27	Zagreb
12	Nantes	28	Durdevac
13	Rouen	29	Bologna
14	Saint-Brieuc	30	Monte Cimone
15	Heraklion	31	Venice
16	Kalamata	32	Trieste
33	Genova	53	Salamanca
34	Milan	54	Cordova
35	Ancona	55	Granada
36	Pisa	56	Seville
37	Naples	57	Ibiza
38	Pescara	58	Menorca
39	Capo Palinuro	59	Paphos
40	Cagliari	60	Nicosia
41	Messina	61	Larnaca
42	Alicante	62	Limassol
43	Lleida	63	Tolmin
44	Barcelona	64	Radovijica
45	Bilbao	65	Ljubljana
46	Saragossa	66	Koper
47	Pamplona	67	Maribor
48	Lugo	68	Celje
49	Pontevegra	69	Brezice
50	Santiago de Compostela	70	Novo Mesto
51	Burgos	71	Cerknica
52	Madrid		

Tabla 2: Ciudades europeas con información de estación meteorológica

Después de la recepción de los datos de estas estaciones y realizando el análisis previamente presentado sobre la forma de catalogar la severidad climática de los veranos e inviernos, podemos establecer dos mapas, uno para la severidad climática invernal y otro para la severidad climática de verano. Una vez presentados estos dos mapas, los combinaremos dando lugar a un tercer mapa con el desglose de todos los climas presentes en Europa.

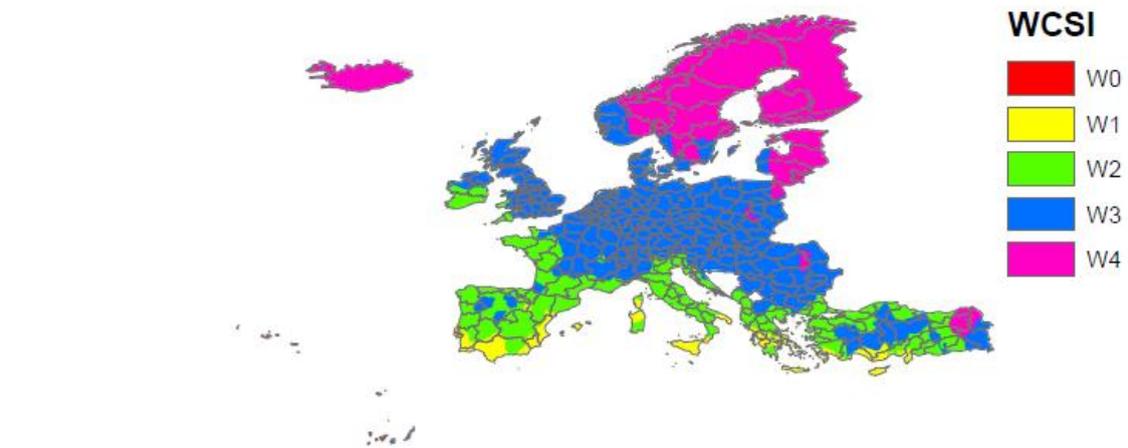


Figura 2: Mapa europeo con índices SCI de invierno

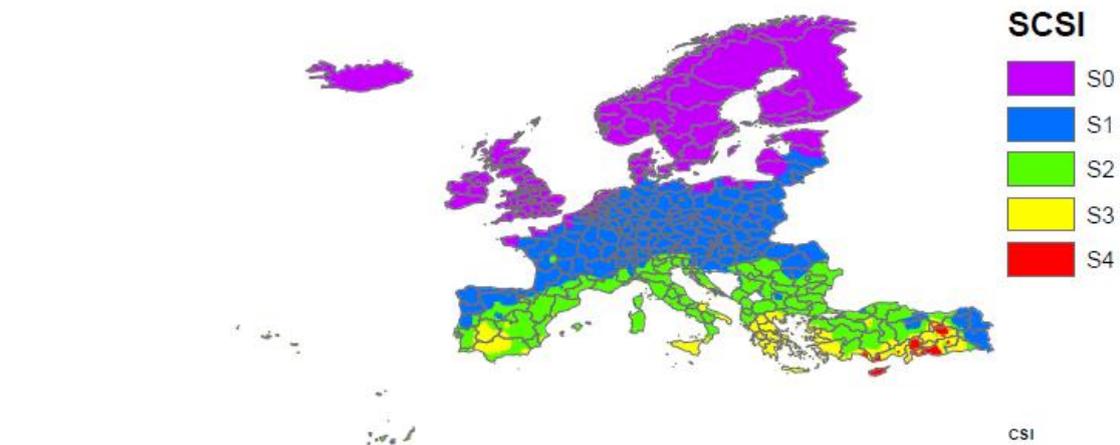


Figura 3: Mapa europeo con índices SCI de verano

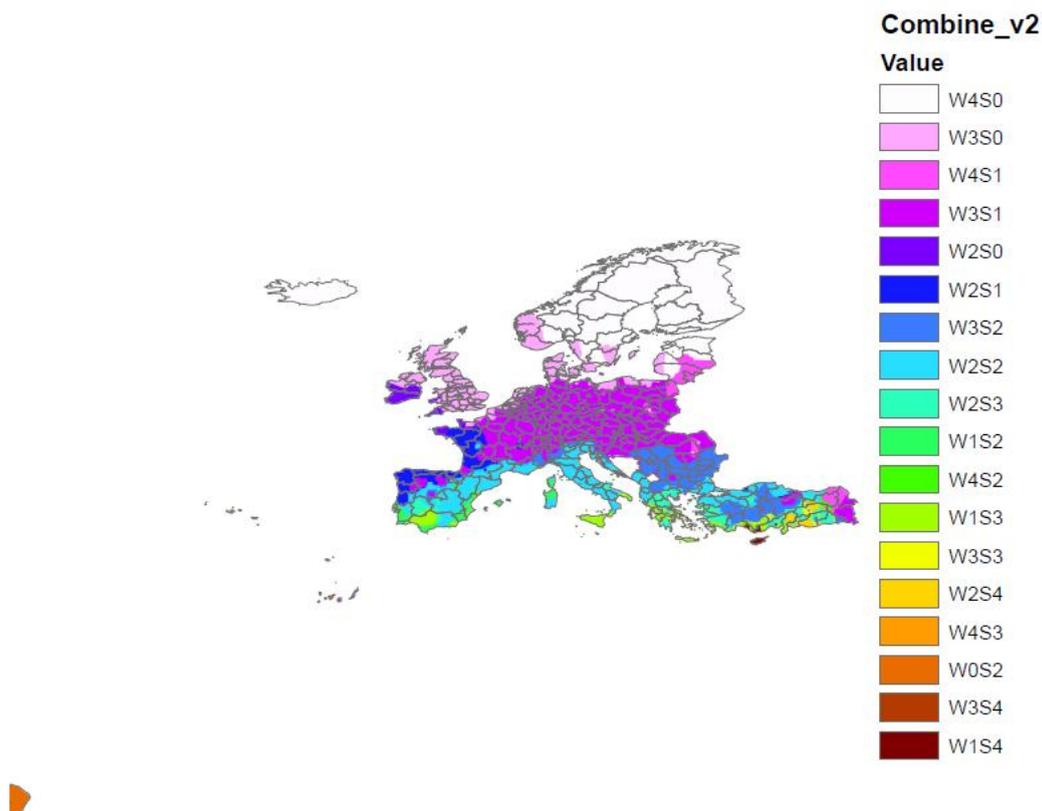


Figura 4: Zonas climáticas europeas

Para la caracterización de los climas en el estado español, se ha procedido de una forma diferente. Nos hemos basado en la información de este ámbito en diferentes artículos y trabajos publicados con miras de determinar la cantidad y tipo de edificio dependiendo de las zonas climáticas presentes en nuestro territorio, con miras de poder hacer una agrupación más optimizada de qué tipo de edificios están presentes en cada clima, haciendo que los edificios de referencia escogidos se comporten de la forma más fidedigna posible a lo real.

Este parámetro no está presente en algunos de los artículos y publicaciones estudiados en este documento. Algunos, como en Escala de calificación energética que presenta el IDAE [22], se presentan estos datos para corregir los rendimientos estacionales además de catalogar las diferentes ciudades españolas por climas de severidad invernal y estival. Este dato puede ser interesante tenerlo en cuenta debido a que la Herramienta Unificada LIDER-CALENER que sirve para calcular la demanda de refrigeración y calefacción necesaria para un edificio previamente introducido, si regulará dependiendo de esta clasificación climática incluida en la base de datos del programa.

Dentro de los datos descriptivos que aporta el estudio Catálogo de tipología edificatoria residencial realizado por el IVE [27] podemos encontrar el clima en el que está situado cada una de las construcciones de referencia que se han incluidos en este estudio, siendo generalizados todos los edificios al clima mediterráneo. Este dato ayudará a ver las diferencias constructivas que existen en los diferentes climas presentes en nuestro país, aunque hay que anotar que los métodos constructivos no difieren mucho dependiendo de la zona climática dentro de la Península Ibérica.

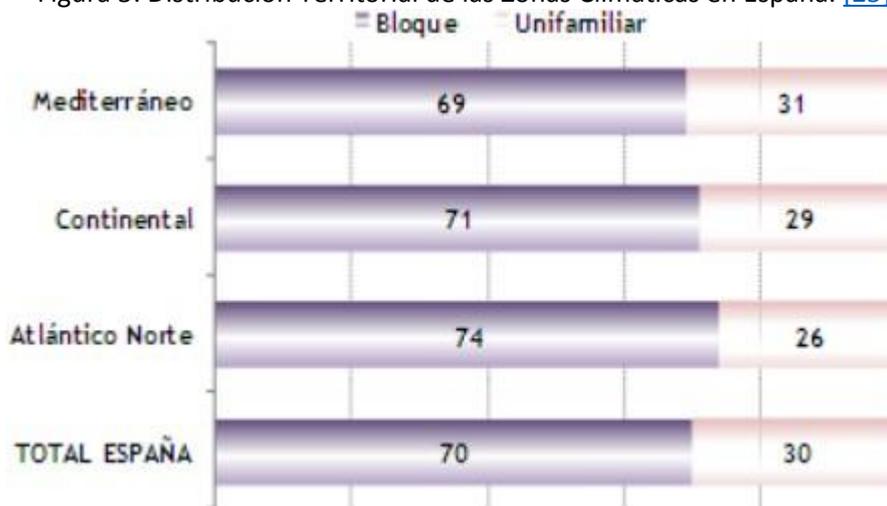
Gracias a la descripción de la división climática realizada por la publicación SECH-SPAHOUSEC [25] podemos establecer la distribución climática de España en la Figura 1. Además, esta publicación aporta información estadística sobre los porcentajes de cada tipo de edificación (dependiendo de si son SFH o

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**

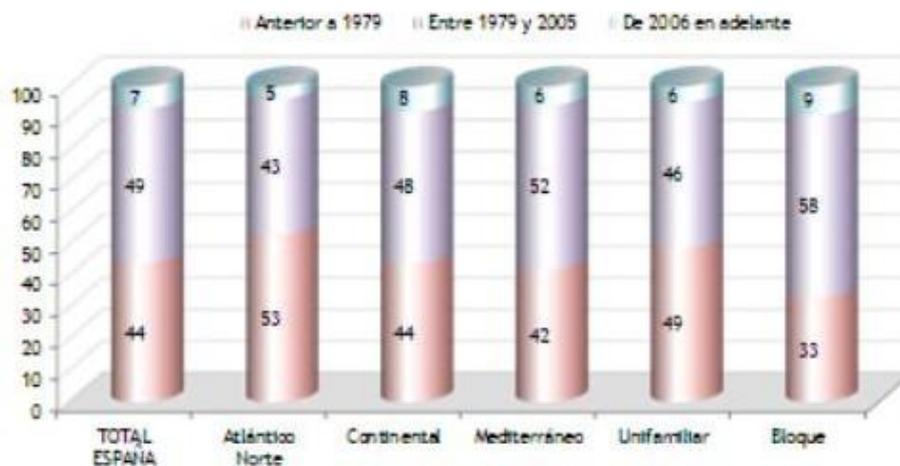
MFH) presentada en este documento como la gráfica 2. Otro dato estadístico interesante es la cantidad de viviendas construidas en función del periodo constructivo y el clima, presentados en la gráfica 3.



Figura 5: Distribución Territorial de las Zonas Climáticas en España. [25]



Gráfica 2: Porcentaje de número de tipo de viviendas en función del clima. [25]



Gráfica 3: Porcentaje de viviendas construidas en función del periodo de construcción y la zona climática. [25]

3.4 Metodología

Los parques edificatorios se caracterizan por una gran diversidad de tipos de viviendas y sistemas de

Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



suministro de calor, así como por una gran cantidad y variedad de posibles sistemas de clasificación e indicadores. El procedimiento, que se describe en las siguientes líneas, transforma este sobredimensionado problema en una tarea manejable.

Las tipologías de construcción han demostrado ser un instrumento útil para una comprensión profunda del rendimiento energético de ciertos tipos y categorías de edificios. Se han analizado las tipologías de edificios residenciales para siete países europeos siguiendo una estructura metodológica común. Cada tipología nacional consiste en un esquema de clasificación que agrupa los edificios según su tamaño, edad y otros parámetros relevantes para la energía.

El propósito principal de un edificio de referencia es representar el stock de edificios típico y promedio en un determinado país, ya que es imposible calcular la situación de costo óptimo para todos los edificios existentes. Por lo tanto, los edificios de referencia establecidos deben reflejar con la mayor precisión posible el stock nacional real para que la metodología pueda ofrecer resultados de cálculos útiles.

En general, la información necesaria para determinar cómo se comporta energéticamente un edificio es menor que la necesaria para una vista realista de un edificio de referencia.

La metodología propuesta en este informe es, por lo tanto, desarrollar un procedimiento de cuatro pasos:

1. Recopilación y análisis estadístico de datos de proyectos y estudios anteriores de la UE para realizar una evaluación de la información existente.

2. Información adicional cualitativa para un análisis más profundo del stock de edificio. Así podemos crear los edificios de referencia para cada país gracias a la descripción de su forma y elementos constructivos.

3. Estudiar la congruencia entre esos edificios generados para que la muestra de 42 edificios (6 por cada uno de los 7 países) se transforme en una muestra menor, pero sin perder información sobre el estockaje real edificatorio.

4. Evaluación de los edificios de referencia en cada uno de los climas existentes en la región mediterránea europea. Para ello previamente se deberá desarrollar un análisis climático estipulando la congruencia entre climas parecidos en diferentes países. Este punto es muy importante ya que nos ayudará a hacer una reducción de casos diferentes y, ya que la funcionalidad de un edificio depende de forma muy sensible del clima donde se sitúe.

De acuerdo con el procedimiento mencionado anteriormente, se ha proporcionado una plantilla a los Países participantes con el objetivo de que cada uno estudie su parque edificatorio nacional y pueda plasmarlo en la plantilla, determinando así la forma constructiva y operación energética que tienen los edificios presentes actualmente en cada región.

Los datos necesarios para cada país participante se buscaron en estudios existentes y otros proyectos de la UE, así como en el conocimiento y la experiencia de los socios. En los casos en que no se encontraron datos relevantes, se recomienda el uso de datos predeterminados. Para poder distinguir entre subconjuntos (clusters), estos datos son necesarios para que los edificios parecidos se agrupen, por ejemplo, por tamaño de edificio (vivienda unifamiliar/multifamiliar) y/o grupos de edad específicos.

Para monitorear de forma efectiva los procesos de ahorro de energía en las existencias de edificios, la identificación y definición de indicadores apropiados es esencial. El esquema de indicadores debe ser adecuado para el mapeo del estado del stock de edificios en un momento determinado en el tiempo, así como para comprender la dinámica del desarrollo a lo largo del tiempo. Además, los datos respectivos se recopilarán mediante métodos factibles y confiables como, por ejemplo, encuestas representativas.

Para configurar los modelos de stock de edificios con respecto a los cálculos de balance de energía, se requieren datos básicos y estructurales:

Periodo de construcción del parque edificatorio.

Clasificación de todo el stock de edificios en la raíz del período de construcción de los edificios, ya que esta clasificación basada en el tiempo corresponde a diferentes tipologías y características estructurales. Esto es debido a la actualización de normativas hacen que a raíz de un periodo cambien las características de las nuevas construcciones del momento.

La información necesaria solo se puede obtener por medio de bases de datos estadísticas que se desarrollan y actualizan por medio de investigaciones periódicas del censo.

Propiedades geométricas

1. Tipología y uso: Dentro de los edificios para uso residencial, podemos dividirlos en edificios multifamiliares (MFH) y edificios unifamiliares (SFH). Gracias a los estudios estadísticos, puede definir qué edificios son los más comunes en cada área y, gracias a los estudios descriptivos, puede especificar cómo son estos edificios representativos.
2. Forma de la planta: este punto es el menos contemplado por los estudios de referencia revisados, debido a la gran variedad de formas que presentan los edificios existentes.
3. Área construida: los datos necesarios para la elección de edificios de referencia es la identificación de los tipos de edificios que se han construido más en cada período seleccionado. Normalmente se utilizan los mismos métodos de construcción en cada período, ya que se aplican las mismas regulaciones.
4. Número de pisos: el número de pisos de un edificio es de gran importancia para evaluar el comportamiento energético del parque de edificios.
5. Área de la envolvente: Entre los datos descriptivos necesarios para la caracterización de la envolvente, es importante conocer el área de: las paredes externas, el área de las paredes en contacto con otro edificio, el área de ventanas y puertas, el área del piso y zona de techo. La mayoría de estas áreas se han desprendido de una serie de cálculos y supuestos, a partir de otros datos que describen geoméricamente los edificios de referencia, aunque es muy difícil cuantificar las paredes que están en contacto con otro edificio, o el porcentaje de agujeros en una pared. Estos datos ayudarán a modelar la geometría del edificio y pueden aclarar cuestiones importantes como la compacidad o cuánta superficie está en contacto con el exterior.

- **Propiedades termofísicas.**

1. Transmisividad térmica o valores U (en W / m²K) que describen la capacidad de un material de construcción de la envolvente para conducir el calor.
2. La estanqueidad del edificio, que describirá lo bien está sellado el edificio, pudiendo cuantificar si el edificio sufre una infiltración de aire.

- **Sistema de calefacción y electrodomésticos.**

Los sistemas HVAC se utilizan para describir si un edificio de referencia logra condiciones de confort.

1. Los sistemas de ACS o los sistemas de agua caliente sanitaria especificarán el tipo de equipo que se usa más comúnmente en el inventario de edificios, como calderas de combustibles fósiles, calentadores de agua eléctricos, etc. La eficiencia y el estado de este equipo también ser descrito
 2. Fuentes de energía: está estrechamente vinculada a la descripción del equipo. En esta sección se identificarán los tipos de fuentes de energía más comúnmente utilizados, que se utilizarán para la comodidad y el ACS.
- **Localización geográfica de edificios.**

Las categorías se definen de acuerdo con el tamaño del edificio (vivienda unifamiliar o edificio multifamiliares) y su período de construcción.

De acuerdo con todo lo anterior, se decidió concentrarse en tres períodos de construcción diferentes (<1980, 1981-2000, 2001-2010) sin tener en cuenta los edificios después de 2010 y la emisión de EPBD porque es posible que no necesiten renovación. La agrupación en las tres categorías de edad puede verse como una forma de simplificar la visión general, pero puede enmascarar muchas especificidades. En particular, algunos de los tipos de edificios identificados están presentes en varios periodos, lo que significa que un tipo de edificio de referencia incluye edificios de otros periodos.

En este sentido, los tipos de edificios residenciales se redujeron para minimizar el sobredimensionamiento creado por definiciones complejas, errores y malentendidos. Más específicamente, la definición de SFH también incluirá casas adosadas y MFH incluirá bloques de apartamentos.

Por lo tanto, el edificio de referencia para una categoría/subcategoría de edificio puede definirse como un edificio con características representativas para los indicadores a continuación:

- Tipo de construcción de edificios (según se define a nivel nacional);
- Edad (año de construcción/puesta en servicio);
- Geometría, incluyendo el tipo de huella, el área total del piso, el número de pisos;
- Compacidad, incluyendo área de pared/ventana por orientación;
- Servicios/usos de energía del edificio (por ejemplo, calefacción, refrigeración, ventilación mecánica, ACS, iluminación artificial);
- Tipo de sistema de calefacción/refrigeración, incluido el tipo de combustible y COP;
- Materiales de construcción y propiedades térmicas.

Por lo tanto, la metodología propuesta incluye la creación de un edificio virtual utilizando un enfoque mixto (no utilizado por los métodos anteriores), basado primero en datos estadísticos básicos, y luego en consultas de expertos y otras fuentes de información.

3.5 Resultados

Gracias a la colaboración de 7 países, se ha desarrollado una estructura armonizada para tipologías de edificios residenciales. Se desarrolló un conjunto de edificios residenciales típicos para cada país participante y se recopilaron datos en términos de tiempo de construcción y tipo de edificio. Los RB se consideran como ejemplos y edificios teóricos de acuerdo con la definición mencionada anteriormente.

Hay un número infinito de combinaciones en el stock de edificios existentes, y no existe un "promedio correcto". Por lo tanto, se recomienda la creación de un edificio de referencia típico para cada categoría de edificio (SFH-MFH) en términos de tamaño, número de pisos y uso.

La mayoría de estos datos de entrada se pueden recopilar para las normas y normas de construcción existentes y anteriores de las fuentes enumeradas anteriormente para la definición de geometría de construcción. En particular, con respecto a la definición de propiedades térmicas, varios enfoques son posibles. Dado que el stock de edificios se dividirá en grupos según el año de construcción, que por ejemplo podría seguir los períodos de cambios en las regulaciones de construcción (u otros cambios de importancia para las evaluaciones a realizar), se especifican los requisitos correspondientes de valor de U. Para cada categoría de edificio, los edificios de referencia podrían definirse con valores U para cada uno de estos períodos de tiempo.

La tabla emitida para ser rellenada por los países participantes se puede ver en el ANEXO A.

3.6 Utilidad y aplicaciones de los resultados

Una vez obtenidos todos los datos anteriormente descritos, nos dispondremos a realizar la clusterización con el objetivo de reducir el número de edificios de referencia. Este agrupamiento tiene sentido ya que existen edificios con características térmicas y geométricas muy parecidas entre sí, situando a esos edificios en puntos de consumo iguales para un mismo clima. Esta premisa hace que tenga poco sentido evaluar cada uno de los edificios base emitidos por los países participantes. El método para realizar esta clusterización se expondrá más adelante en este documento.

A raíz de las diferentes agrupaciones generadas, se desprenden los edificios de referencia sobre los cuales vamos a trabajar para poder obtener los puntos de coste óptimo tras la implementación de mejoras constructivas en los mismo. Para ello se ha desarrollado una metodología de cuantificación de consumos de forma automática gracias a las pasadas masivas que, usando el programa informático “Herramienta Unificada LIDER-CALENER (HULC)” que ofrece el Ministerio de Fomento e implementando un macro (creado por el Grupo de Termotecnia de la US) el cual va modificando las características constructivas cambiando datos del archivo característico de cada edificio de referencia de forma automática, podemos generar una tabla de consumos de cada uno de los edificios de referencia y de esos edificios tras haber implementado las mejoras constructivas.

Teniendo en cuenta el precio de cada una de las mejoras implementadas, y el ahorro de consumo anual que supone esos cambios, podremos generar una gráfica con todas las posibilidades de mejora que presenta un edificio de referencia. En esa gráfica tendremos en el eje de abscisas el consumo anual del edificio por metro cuadrado [kWh/m²] y en el eje de ordenadas veremos el tiempo de retorno [años], es decir, la cantidad de años que debe operar esa mejora constructiva para recuperar la inversión que supuso el implementarla. Gracias a la representación de esos datos podremos observar qué mejoras constructivas son las mejores en términos de inversión económica y ahorro de energía, siempre tenidas en cuenta desde el punto de vista financiero para que sea atractiva la inversión particular de los propietarios de esos edificios.

4 CARACTERIZACIÓN DEL PARQUE EDIFICATORIO ESPAÑOL

Los trabajos analizados, los cuales parte de ellos ya fueron comentados en el capítulo dos, han sido obtenidos mediante la búsqueda de artículos de investigación, gracias a las fuentes como Scopus, Google Scholar o estadísticas presentadas por entidades públicas como el Ministerio de Industria, Turismo y Comercio. Del análisis de estos cabe destacar que existen dos tipos diferentes de estudio, estudios realizados sobre la forma de cómo catalogar diferentes parques edificatorios mostrando su metodología sin presentar resultados, y otros exponiendo los datos obtenidos y aportando información sobre cómo son los edificios construidos en diferentes zonas determinadas y la cantidad de construcciones del mismo tipo y periodo de construcción.

Respecto al contenido, existen estudios de diferentes orígenes y centrados en distintos puntos de interés, pudiendo ser separados en dos grupos generales, los cuales son descripciones geométricas, y descripciones de coeficientes térmicos y equipos.

Los parámetros para la caracterización del parque edificatorio han sido obtenidos de diversos estudios, algunos de los mismos fueron realizados por sus autores referenciados en este punto con el fin de hacer un catálogo del tipo de construcción del parque edificatorio, mientras que otros el objetivo principal estaba relacionado con otros aspectos de la eficiencia energética de edificios o de la construcción, de los cuales nosotros hemos aprovechado solo una parte del estudio.

Nuestra forma de proceder va a ser la siguiente; en primer lugar, analizaremos las metodologías y el conjunto de valores recopilados en cada caso y, una vez descritos todos los aspectos relativos a la geometría, pasaremos a analizar los valores recogidos en cada caso. También hay que mencionar que separaremos cuales estudios se han usado para poder elegir un edificio de referencia, que recogen información de carácter más estadístico y los estudios que describen la forma y características que definen a esos edificios de referencia que se basan e incluyen con carácter general una información más descriptiva. Para ello, veremos en la [Tabla resumen de los estudios](#) citados algunas casillas divididas en dos partes, una azul y otra gris. La azul nos mostrará lo profundo que ha llegado el estudio estadísticamente hablando y la gris esclarecerá la cantidad de información descriptiva que aporta el estudio

En las descripciones geométricas, este documento se centra en la tipología y uso, área de la planta, forma, superficies de muros exteriores, medianeras, techos, compacidad, entre otros. Estos parámetros y sus metodologías de medida hacen que se pueda generar de forma justificada la geometría típica de un parque edificatorio, desviándose poco el modelo de la realidad y dando lugar a la definición de los edificios de referencia.

Las descripciones energéticas, se focalizan sobre todo en la conductividad térmica de la envolvente, la estanqueidad, los equipos para garantizar el confort y los puentes térmicos. Estos estudios presentan muestras de parques de edificios de diferentes orígenes pudiendo definir de forma precisa los diferentes métodos constructivos utilizados tanto en España como en otros países.

4.1 Parámetros Geométricos

Tipología y uso

Dentro de todos los estudios contemplados, podemos observar cómo se define el parque edificatorio, pudiendo ser catalogados en primer lugar entre edificios de uso residencial y edificios terciarios. Dentro de los edificios de uso residencial podemos dividirlos en edificios de varias familias (MFH) y edificios de una sola familia (SFH). Es importante anotar la división antes mencionada sobre estudios que se centran en la parte estadística de cantidad de metros cuadrados construidos por tipo y los que se centran en la descripción constructiva de los edificios. Gracias a los estudios estadísticos podrán definir cuáles son los edificios más comunes en cada zona y gracias a los estudios descriptivos, se podrá especificar el cómo son esos edificios representativos.

i. Estudios estadísticos

Es un dato muy importante ya que determinará la elección de la metodología constructiva más predominante en el parque edificatorio. El estudio estadístico sobre la cantidad de casas o edificios residenciales construidos por periodo esclarecerá el tipo de vivienda más representativo.

El estudio realizado por Economidou, M. et al. [\[4\]](#) nos especifica los porcentajes de edificios

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



existentes en Europa dividiendo la zona en tres partes, Sur, Noroeste y el Este central. Este estudio estadístico muestra dos datos importantes. Uno de ellos es la cantidad de edificios residenciales frente a la cantidad de edificios terciarios y el otro es la cantidad de MFH frente a la cantidad de SFH existentes en el parque edificatorio europeo.

En la descripción de las viviendas de estudio unifamiliares y bloques realizada por IDAE [22] en 2014, podemos encontrar un desglose estadístico de los diferentes tipos constructivos del parque edificatorio de Madrid además de estar desglosado por año de construcción. Información algo más superficial podemos verla en el estudio de Consuegra et al. [23] en el cual se muestran los metros cuadrados construidos de cada tipo de edificio, pero sin entrar en situarlos en ningún periodo de construcción. Otros estudios parecidos como el estudio publicado por Corgnati et al. [24] presenta los resultados siguiendo el mismo desglose, pero centrado en Italia, dividiendo las zonas entre Norte, Centro y Sur.

Entre los estudios estadísticos, existe el informe del proyecto SECH-SPAHOUSEC [25] de 2011 basado en encuestas públicas a la población realizadas por el INE y que dilucida la cantidad de MFH y SFH que hay en España dividiendo tres zonas climáticas, Atlántico Norte, Continental y Mediterráneo.

Un estudio muy esclarecedor es el realizado por Daniel Sánchez-García, Carlos Rubio-Bellido, Jesús A. Pulido-Arcas, Fco. Javier Guevara-García y Jacinto Canivell [26] en el que muestra la tabla 1 dando información sobre la cantidad de casas y edificios construidos en cada periodo dividiéndolos por la cantidad de viviendas que incluyen; y la tabla 2 en la que se dilucidan la cantidad de construcciones realizadas por periodo dividiéndolas por los metros cuadrados de la planta.

i. Estudios descriptivos

También podemos encontrar información descriptiva sobre Europa, específicamente en países como Austria, Bélgica, Bulgaria, Chipre, Republica Checa, Alemania, Dinamarca, España, Francia, Reino Unido, Grecia, Hungría, Irlanda, Italia, Holanda, Noruega, Polonia, Serbia, Suecia y Eslovenia, siendo un poco más precisos en la división de tipología, incluyendo las categorías de casa con terraza (TH) y bloque de apartamentos (AB) además de presentar las antes mencionadas. Esta información está presente en la herramienta online de EPISCOPE-TABULA [2].

Year of Construction	Detached House	Semidetached House	2-Dwelling Housing Block	3-9 Dwellings Housing Block	Over 10 Dwelling Housing Block	Buildings for Other Use	Total
After 2010	36	38	5	25	115	-	218
2006-2010	147	308	18	220	717	0	1409
2001-2005	246	370	32	299	955	2	1904
1991-2000	456	712	90	578	1417	7	3259
1981-1990	379	420	84	464	1162	4	2513
1971-1980	358	332	98	572	2059	5	3425
1961-1970	273	305	89	509	1528	4	2708
1951-1960	166	229	50	247	508	1	1202
1941-1950	102	141	28	82	126	2	481
1921-1940	115	143	30	76	138	2	504
Before 1921	243	315	54	127	109	3	852

Tabla 3: Miles de construcciones en función del periodo y cantidad de viviendas que incluyen. [26]

Otro estudio a nivel europeo el cual incluye los países de Austria, Dinamarca, España, Holanda, Lituania es el Passive House Retrofit Kit de Dr. tecn. Andrea Sonderegger [7], siendo divididas en grupos de grandes bloques de apartamentos, pequeños bloques de apartamentos y casas unifamiliares.

A nivel de España podemos encontrar datos descriptivos del Instituto Valenciano de la Edificación (IVE) [27] en el que se nos muestra un catálogo muy desglosado del parque edificatorio español del cual,

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



entre los numerosos datos descriptivos que aporta, se desprende el dato de si los edificios son MFH, SFH, incluyendo las categorías de casa con terraza (TH) y bloque de apartamentos (AB). Este estudio sirvió en su momento para nutrir a la herramienta online de EPISCOPE-TABULA con parte de las construcciones que describe el IVE.

Construction Year	Area (m ²)										
	Total	<30	30-45	46-60	61-75	76-90	91-105	106-120	121-150	151-180	>180
Total	18,473	32	491	1925	3394	5121	2523	1822	1455	719	991
After 2010	218	1	14	24	37	56	23	14	17	10	24
2006-2010	1409	1	38	134	236	361	207	121	128	79	104
2001-2005	1904	3	36	120	282	563	266	198	168	108	159
1991-2000	3259	5	61	218	453	986	478	363	321	144	231
1981-1990	2513	1	45	147	341	847	389	302	217	103	121
1971-1980	3425	1	54	279	752	1047	524	353	229	83	103
1961-1970	2708	6	84	517	771	632	261	188	128	59	61
1951-1960	1202	2	50	247	256	279	120	99	70	35	43
1941-1950	481	0	24	68	78	111	66	49	40	22	22
1921-1940	504	2	33	82	86	93	63	45	46	24	31
Before 1921	852	8	50	90	103	147	126	91	93	53	91

Tabla 4: Miles de viviendas en función del periodo y cantidad de metros cuadrados de la planta. [26]

La división elegida dependerá del parque edificatorio a analizar y lo preciso que haya podido ser el estudio. Otra conclusión que se desprende de los análisis realizados consiste en que para poder determinar qué tipo edificios de referencia se van a elegir, es necesario tener en cuenta las estadísticas de metros cuadrados construidos por año y tipo, definiendo así la tipología de edificios más abundante, haciendo que la muestra escogida sea fidedigna con la realidad.

Forma de la planta

Este punto es el menos contemplado por los estudios de referencia revisados, debido a la gran variedad de formas que pueden presentar los edificios existentes. Existen softwares dedicados al catálogo de la forma de las construcciones de parques edificatorios, pudiendo obtener resultados a raíz de la cartografía vía satélite del lugar, dando estadísticas de las formas más utilizadas en la edificación de referencia.

Entre los estudios revisados podemos observar cómo se presentan diferentes edificios de referencia con fotos [2] [3] [7] o bocetos [22], a raíz de los cuales se puede elegir una forma determinada de la planta de forma justificada.

Superficie construida

Un dato útil y necesario para la elección de edificios de referencia es la superficie construida en cada periodo, pudiendo saber los tipos de edificios que más se han construido en cada periodo de tiempo seleccionado. Normalmente se utilizan los mismos métodos constructivos en cada periodo, debido a que la normativa suele guiar las soluciones constructivas. Estos datos estadísticos están muy relacionados con el punto 4.1.i ya que, en algunos de estudios también se desglosa la cantidad de metros cuadrados construidos en cada periodo.

Gracias a los diferentes artículos revisados podemos determinar los metros cuadrados construidos cada 10 años desde 1900 en la ciudad de Madrid [22]. Unos datos parecidos pero especificados para las tres zonas diferenciadas de España (Atlántico norte, Continental, Mediterráneo) [25] también son presentados, pero mostrando la cantidad de casas construidas, aunque no muestra los metros cuadrados que ocupan. De una forma más genérica podemos encontrar datos útiles sobre los metros cuadrados

construidos en cada periodo en Europa, dividiéndose en las zonas Sur, Noroeste y el Este central [2], siendo también comparados con la construcción de edificios terciarios y denotando la magnitud de la constructiva residencial en Europa.

Sin embargo, en el artículo presentado por Daniel Sánchez-García, Carlos Rubio-Bellido, Jesús A. Pulido-Arcas, Fco. Javier Guevara-García y Jacinto Canivell [26] podemos encontrar el dato de la cantidad de edificios construidos, con los metros cuadrados de cada construcción, por periodos de 10 años desde 1920, perfectamente desglosados y presentados en la tabla 2.

Debido a la implementación de softwares de estudio cartográficos y el material informativo del catastro, se puede hacer estudios de esta índole, pudiendo mostrar tanto el área de planta como el área de la envolvente construida en cada periodo. Esta metodología está presente en el estudio Use of cadastral data to assess urban scale building energy loss. Application to a deprived quarter in Madrid de Fernando Martín-Consuegra [23] el cual explica la metodología y muestra los resultados de Canillas, Madrid y, aunque no muestra resultados divididos por periodo constructivo, desglosa la cantidad de metros cuadrados que deben satisfacer el confort por tipo de construcción. Esta información se muestra en la tabla 3.

Número de plantas

Para la caracterización energética del parque edificatorio, un dato descriptivo importante es el del número de plantas que tiene el edificio. Esto es debido a que el área de la envolvente depende del número de plantas y es uno de los datos clave para determinar las posibles pérdidas energéticas. Existen varios estudios que determinan el número de plantas de los edificios de referencia [2] [27] [7] aglomerados por los autores de dichos edificios. Otros estudios, sin embargo, aportan datos estadísticos la cantidad de edificios construidos y área construida con un número determinado de plantas, presentados en la tabla 4 y tabla 5, aunque este estudio solo se centra en Madrid [22].

Heated/cooled area (m²) in the Canillas neighbourhood by use and period.

Use/Period	pre-1940	1940–1979	1980–2006	post-2006	TOTAL
HOUSING	392	104,327	28,795	1237	134,751
RETAIL		4987	684		5671
EDUCATION		6708			6708
HEALTH		1644			1644
LEISURE-HOSTEL		255			255
OFFICE		147			147
SPORTS		1610	27		1637
WORSHIP		895			895
INDUSTRIAL		29			29
OTHER		676			676
TOTAL	392	121,278	29,506	1237	152,413

Tabla 5: Metros cuadrados que necesitan satisfacer el confort en función del tipo y periodo. [23]

Superficie de envolventes

Entre los datos descriptivos necesarios para la caracterización de la envolvente es importante conocer el área de los muros hacia el exterior, el área de los muros en contacto con otro edificio, el área de ventanas y puertas, área del suelo y área de la cubierta. La mayoría de estas áreas podrían deducirse, con una serie de cálculos y suposiciones, a raíz de otros datos que describen geoméricamente los edificios de referencia [22] [2], aunque cuantificar los muros que están en contacto con otro edificio, o el porcentaje de huecos que hay en un muro es muy difícil o imposible. Estos datos ayudarán a generar la geometría del edificio pudiendo esclarecer datos importantes como compacidad o cuanta superficie está en contacto con

el exterior.

Tipo de edificio (desagregado)		Edificio sólo con una vivienda familiar						
Nº de plantas sobre rasante		Total	1	2	3	4	5	6
Provincia de la vivienda	Año de construcción (agregado)							
Madrid	Total	128,62	112,82	124,6	214,52	85,53	81,98	78,86
	Antes de 1900	82,25	76,72	93,16	161,57	80	0	96
	1900-1920	89,85	74,7	129,35	267,5	102,25	0	79,5
	1921-1940	120,78	96,49	134,18	197,87	102	50	100
	1941-1950	85,71	77,5	87,09	224,21	85	120	53,5
	1951-1960	82,84	85,85	79,67	168,93	57,25	60	0
	1961-1970	107,11	106,98	98,87	218,31	129,27	70,5	80
	1971-1980	169,25	141,81	178,21	226,93	96	75	85
	1981-1990	157,33	118,04	168,14	235,04	74,22	91,43	0
	1991-2001	159,72	138,77	163,33	208,38	77,18	82,74	78,28
	No es aplicable	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 6: Metros cuadrados medios en edificios con solo una vivienda familiar en Madrid. [22]

Para este punto, existen datos estadísticos derivados de la implementación de software y el uso de catastro edificatorio. En el estudio realizado por Fernando Martín-Consuegra [23] muestra el área de cada una de las fachadas por orientación del barrio de Canillas, Madrid, aunque estos datos no son muy determinantes para la elección de edificios de referencia ya que la muestra es pequeña. Si se implementase la metodología de medida de este artículo en todo el parque español se podría esclarecer la orientación de los muros además de determinar cuáles son medianeras entre edificios y cuales están en contacto con el exterior.

Tipo de edificio (desagregado)		Edificio sólo con varias viviendas familiares										
Nº de plantas sobre rasante		Total	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10 o más
Provincia de la vivienda	Año de construcción (agregado)											
Madrid	Total	75,87	87,12	74,74	70,97	71,7	68,23	73,82	85,99	88,07	88,6	90,66
	Antes de 1900	67,12	65,71	53,28	60,8	66,01	61,17	73,17	87,03	87,65	252,5	0
	1900-1920	66,49	59,04	53,47	54,41	62,14	61,17	74,24	89,58	97,11	0	98,33
	1921-1940	72,89	73,57	66,59	67,17	60,76	64,03	73,52	83,18	106,75	98,42	105,96
	1941-1950	71,72	67,43	61,61	57,46	67,2	67,77	83,11	84,3	92,7	78	73,22
	1951-1960	66,88	72,91	61,98	61,24	62,74	62,96	67,97	84,41	86,76	90,36	68,36
	1961-1970	67,66	93,16	70,89	64,28	64,45	64,09	63,35	78,9	78,55	80,67	83,46
	1971-1980	85,99	124,74	97,99	75,51	78,3	76,16	84,04	96,09	94,24	89,2	93,99
	1981-1990	92,28	108,87	105,36	87,15	88,4	85,76	88,37	88,95	96,04	93,11	98,59
	1991-2001	80,73	109,99	99,11	81,14	76,21	78,84	80,67	81,98	83,82	86,48	89,28
	No es aplicable	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Tabla 7: Metros cuadrados medios en edificios con varias viviendas familiares en Madrid. [22]

Con respecto a la cantidad de área de ventanas y puertas que existe en los edificios de referencia del parque edificatorio español, podemos determinar un número medio para la generación de nuestros edificios de referencia gracias al artículo UPDATE OF THE SPANISH REGULATION REGARDING VENTILATION

AND INFILTRATION: ANALYSIS, COMPARISONS AND REPERCUSSIONS [28] en el que se determina la relación entre el área de ventana y los metros cuadrados totales de la envolvente o en el estudio realizado por Corgnati [24] en el que se muestra el porcentaje de ventanas con respecto al área total del muro en el parque edificatorio italiano.

Aunque lo anterior mencionado puede ser útil, en los informes del IDAE y el realizado por Fernando Martín-Consuegra [23] presentan este dato descriptivo como un porcentaje en área de cada muro pudiéndose especificar qué muros tienen más o menos área de ventanas. En otros casos como en EPISCOPE-TABULA [2] o en el Catálogo de tipología edificatoria residencial del IVE [27], podemos determinar la cantidad de ventanas por medición de fotos y sabiendo los datos del área de cada uno de los muros.

Hay que tener en cuenta que existen estudios bastante completos sobre la caracterización geométrica de la envolvente, centrándose más en un parque edificatorio u otro (Madrid, España, Europa...) pero dando información muy desglosada y suficiente para la generación de edificios de referencia. La elección de los diferentes datos descriptivos vendrá determinada por el estudio previo de los datos estadísticos de las diferentes publicaciones, teniendo que ser deducidos con cálculos paralelos y unificando la información de los estudios revisados.

Compacidad

La compacidad describe la relación entre el volumen de la vivienda y el área de la envolvente. Es un dato importante debido a que varios parámetros térmicos dependerán de él, como la estanqueidad entre otros. De los artículos y estudios referenciados en este documento, podemos determinar este parámetro a nivel europeo, español e incluso algunas ciudades en particular.

Del artículo de Fernando Martín-Consuegra [23] se desprende este dato para el barrio de Canillas, Madrid. En la tabla 6 podemos observar cómo se desglosa este parámetro descriptivo en función del tipo de edificio, a definir como MFH grande, MFH median y SFH.

Summary of geometric indicators for the neighbourhood and three specific buildings (tower, high-rise and single family dwelling).

Reference	Env. area (m ²)	Footprint (m ²)	No. storeys (units)	Mean height (m)	Volume (m ³)	Compactness (m ³ /m ²)
Total Canillas neighbourhood	243,317	49,769	3.22	9.65	480,253	1.97
Tower REFCAT 4994547VK4749F	5380	346	13	39	13,647	2.21
High-rise REFCAT 4992543VK4749D	706	155	4	12	2200	2.50
Sng fam REFCAT 5292448VK4759C	170	35	2	6	208	1.22

Tabla 8: Indicadores geométricos en función del tipo de construcción. Canillas, Madrid. [27]

Encontramos este dato descriptivo de cada uno de los tipos de edificación en el desglose del parque edificatorio realizado por el IVE denominado Catálogo de tipología edificatoria residencial [27].

A nivel europeo, podemos encontrar este parámetro en la herramienta online Passive House Retrofit Kit [7] el cual se muestra para los edificios de los países antes mencionados, generalizándose a más países del área europea como Italia, Luxemburgo, Eslovenia, República Checa, Francia, Alemania, Reino Unido, Portugal y Bélgica. Esta herramienta extrapola los edificios típicos de los países mencionados en el punto a.ii (Austria, Dinamarca, España, Holanda, Lituania) y los sitúa en los países mencionados en este mismo párrafo tomándose como verdadero que las zonas climáticas son iguales.

En el estudio realizado por Corgnati et al. [24] se visualiza este parámetro de forma indirecta, ya que muestra las áreas de cada elemento de la envolvente, además de presentar el volumen que ocupa la edificación. El aporte externo de cálculo de la compacidad se puede realizar de forma sencilla

relacionando el volumen del edificio con la suma de las áreas de los elementos de la envolvente.

Para el cálculo de la estanqueidad presentado en la actualización del código técnico muestra el dato descriptivo de la estanqueidad, generalizada a todo el parque edificatorio español. Este dato se presenta en función del tipo de edificación, siendo divididos en SFH y MFH, siendo necesario para poder medir la estanqueidad de los edificios mediante el método n50.

4.2 Parámetros Térmicos y Sistemas

En este punto del documento nos disponemos a analizar los datos, tanto estadísticos como descriptivos, presentes en los estudios revisados. Los parámetros para analizar serán:

- Transmisividad térmica o U-Values, la cual tiene unidades de W/m^2K y que describe la capacidad de conducir calor cada uno de los elementos de la envolvente del edificio.
- Estanqueidad, que describirá lo bien sellado que está el edificio, pudiéndose cuantificar si el edificio sufre de infiltraciones de aire. Se realiza a través de la prueba n50, la cual expone el edificio a una diferencia de presión de 50Pa y analiza la cantidad de aire que intercambia con el exterior.
- HVAC Systems o sistemas de calefacción y aire acondicionado, sirve para describir si los edificios de referencia disponen de estos equipos de confort y el estado de los mismos.
- DHW Systems o sistemas de agua caliente sanitaria (ACS), puntualizará el tipo de equipos más comúnmente utilizados en el parque edificatorio, pudiendo ser calderas o termos de combustibles fósiles, termos eléctricos, etc. También se describirá la eficiencia y el estado de estos equipos.
- Fuentes de energía: Está muy unido a la descripción de los equipos. En este apartado podremos dilucidar qué tipos de fuentes de energía, utilizadas para el confort y ACS, son los más comunes en el parque edificatorio.
- Puentes térmicos: Un puente térmico es la conexión entre diferentes elementos constructivos, por ejemplo, la línea de contacto entre una ventana y el muro o la línea en la que apoya el tejado sobre el muro. Este punto es importante debido a que afecta bastante a la eficiencia energética de los edificios y no se encuentran fácilmente información específica de los mismos. Existen softwares para poder realizar el cálculo numérico de los puentes térmicos, pudiéndose determinar la transmitancia térmica lineal.

Transmitancia térmica de los cerramientos

A nivel europeo, podemos encontrar diversos estudios que describen los valores de la transmitancia térmica de cada uno de los elementos constructivos. En el EPISCOPE-TABULA [\[2\]](#) y en la herramienta online Passive House Retrofit Kit [\[7\]](#) podemos encontrar estos datos descriptivos en función del país, tipo de construcción y el periodo constructivo. Los países variarán dependiendo del estudio, habiendo sido mencionados anteriormente para cada una de las publicaciones.

A nivel europeo también contamos con la publicación EUROPE'S BUILDINGS UNDER THE MICROSCOPE de Economidou, M. et al. de 2011 [\[4\]](#) podemos encontrar una tabla descriptiva de los U-values de los edificios más comunes en Europa. En este estudio no se especifica el tipo de construcción ni el periodo, aunque si muestra gráficas en las cuales muestra la línea del cost optimal de cada uno de los elementos constructivos. Estas gráficas se desprenden de la publicación U-Values for Better Energy Performance of Buildings, 2007 realizada por Ecofys [\[29\]](#).

Para los parámetros descriptivos españoles, podemos revisar los documentos antes mencionados en este punto, aunque, siendo minuciosos, podemos adquirir datos descriptivos de las publicaciones

Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



enfocadas al parque español edificatorio, siendo estos más específicos. En la publicación del IDAE sobre la Escala de calificación energética [22] se muestran estos datos desglosados por periodo constructivo y tipología de vivienda. También se desprenden más datos descriptivos del Catálogo de tipología edificatoria residencial realizado por el IVE [27] los cuales han servido para nutrir a EPISCOPE-TABULA [2] aunque en el catálogo realizado por el IVE están más desglosados y existen más edificios que EPISCOPE-TABULA desecha. Además, estos estudios muestran la descripción de la sección de cada uno de los elementos constructivos pudiéndose cotejar si el valor de la transmitancia térmica mostrado coincide con el real.

Con respecto a Italia en particular, podemos encontrar la publicación de Corgnati et al. [24] la cual genera un edificio de referencia para Norte, Centro y Sur de Italia. En este estudio se describe la sección de los elementos, además de mostrar su U-value. No se catalogan los periodos constructivos ya que solo escoge un solo edificio de referencia por cada zona geográfica.

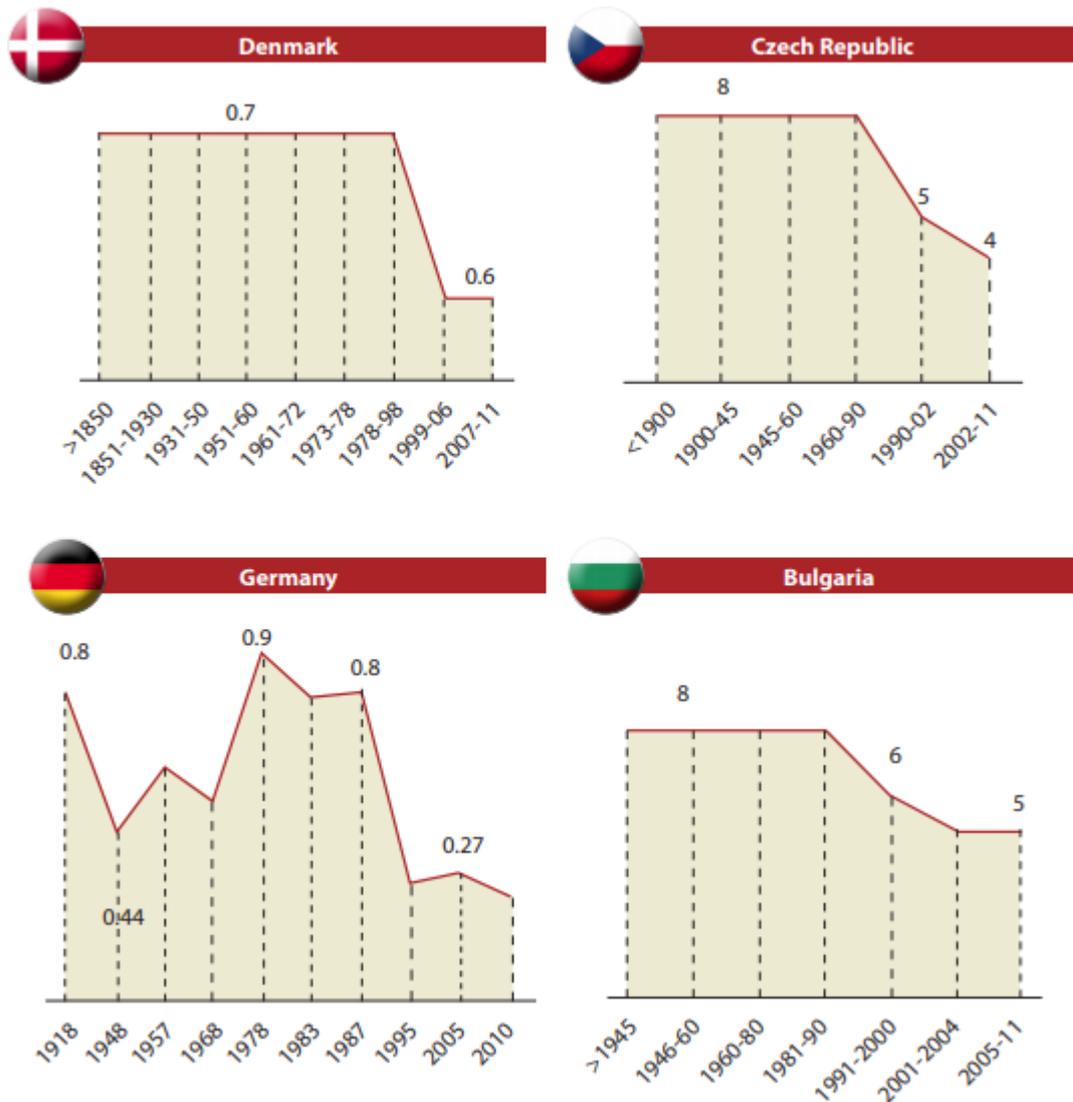
A niveles locales, podemos encontrar esta información sobre el barrio de Canillas, Madrid, en la publicación de Martín-Consuegra et al. [23] y del barrio del Tardón, Sevilla, gracias a lo publicado por Daniel Sánchez-García et al. [26].

A raíz de todas estas publicaciones podremos cotejar la información que muestran cada una de ellas y poder generar nuestros valores propios de cada uno de los elementos constructivos de nuestros edificios de referencia. Podremos catalogarlas por periodo constructivo e incluso por zona geográfica, pudiendo hacer un mapeado de la metodología constructiva desarrollada en función del clima.

Estanqueidad o Air Tightness

Sobre este punto existe información a nivel europeo gracias a la publicación de Economidou, M. et al. [4] aunque está focalizada a los países de Dinamarca, República Checa, Alemania y Bulgaria. En este estudio se muestran las gráficas de las renovaciones por hora concluyentes del estudio n50 antes mencionado. Se puede observar cómo los niveles de ventilación natural son mucho menores en los países de climas de frío extremo al contrario de los países de climas suaves. Los resultados del estudio Europe's buildings under the microscope realizado por Economidou, M. et al. [4] se muestran en la gráfica 4.

Gracias a la publicación sobre la actualización del código técnico español debido a la obligación de adaptarse a la normativa europea [28]. En esta actualización se muestra los niveles obligados por la normativa de construcción EN 13465:2004 [30] y los nuevos niveles recomendados por la Unión Europea EN 15242:2007 [31] además de poder encontrar una comparativa entre ambas.



Gráfica 4: Niveles de estanqueidad (medidos por el método n50) de SFH en el último siglo. [2]
 Fuente: DK- SBi, CZ –SEEn, DE- IWU, BG-BSERC

Rendimientos de sistemas de acondicionamiento y producción de ACS

Dentro de este punto vamos a desglosar y especificar los equipos más utilizados para aire acondicionado, calefacción y agua caliente. Muchos estudios acogidos en este documento desglosan el equipamiento más común presente en los edificios, cuantificando también los que no disponen de equipos de confort.

En la publicación del IDAE [22] en el Anexo IV podemos encontrar la distribución de equipos de producción de frío y calor, exponiendo datos estadísticos de la cantidad de metros cuadrados con y sin refrigeración, con calefacción colectiva o calefacción incluso llegando al nivel de detalle de presentar la cantidad de metros cuadrados que no disponen de instalaciones de calefacción, pero disponen de aparatos para calentar alguna estancia. Además, estos datos están en función del año constructivo y tipología llegando incluso a mostrar el número de plantas sobre el rasante.

Revisando estos datos se puede establecer que el gas natural es el tipo de combustible más utilizado para la calefacción, sobre todo en los periodos constructivos actuales. Este estudio presenta tablas con el tipo de combustible utilizado para cada periodo constructivo y tipo de vivienda.

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



Todas estas tablas (Tabla 7 y tabla 8) sobre las instalaciones y útiles para la calefacción las encontraremos en el anexo IV.2. Estos datos serán de gran utilidad para la definición de los equipos utilizados en los edificios de referencia.

Con respecto al ACS, los resultados mostrados en el documento Escala de calificación energética para edificios existentes del IDAE [22] podemos encontrar datos estadísticos sobre la distribución de agua caliente en Madrid. Existen tablas que muestran la cantidad de metros cuadrados que disponen de agua caliente sanitaria frente a las que no, en función del periodo constructivo y tipo de vivienda. Un dato importante que podemos extraer de estas tablas es que, para construcciones anteriores a 1980 las calderas más utilizadas eran las de GLP mientras que a partir de 1980 las calderas para calentar agua son más comunes de Gas Natural. Estos datos se presentan de nuevo en función del tipo de construcción y periodo constructivo.

	Unifamiliar 1 planta					Unifamiliar 2 plantas					Unifamiliar 3 o más plantas					
	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	
ACS colectivo	GLP	9	31	29	32	1	24	55	33	51	1	3	35	54	70	1
	Gasóleo-C	0	1	2	2	1	3	1	0	1	1	3	1	1	2	1
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
	Gas	2	4	2	5	42	0	4	2	3	55	10	6	7	5	74
	Electricidad	0	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0
ACS individual	GLP	87	62	66	59	0	74	40	65	44	0	83	57	39	23	0
	Gasóleo-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gas	0	0	0	0	54	0	0	0	0	43	0	0	0	0	24
	Electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 9: % de metros cuadrados totales de agua caliente sanitaria en función del combustible utilizado para SFH en Madrid. [22]

Podemos encontrar información parecida en la publicación del IDAE Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica [32] la cual presenta el número total de equipos de cada tipo dependiendo de la zona climática y tipología constructiva. Podemos encontrar estos datos en la Tabla 9 y 10.

	Bloque de menos de 3 plantas					Bloque de 4 a 6 plantas					
	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	
ACS colectivo	GLP	5	8	10	15	2	1	3	4	5	3
	Gasóleo-C	1	2	1	3	2	1	3	2	5	3
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	2	1	1	1	1	2	0	4	2	0
	Gas	4	6	4	5	32	6	8	7	9	22
	Electricidad	0	1	0	1	0	0	1	0	0	0

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



		Bloque de menos de 3 plantas					Bloque de 4 a 6 plantas				
		< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)
ACS individual	GLP	88	82	83	76	0	89	86	82	78	0
	Gasóleo-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gas	0	0	0	0	62	0	0	0	0	72
	Electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Bloque de 7 a 9 plantas					Bloque de más de 10 plantas				
		< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)	< 1900 (%)	1900-1940 (%)	1941-1960 (%)	1961-1980 (%)	1981-2001 (%)
ACS colectivo	GLP	5	6	9	16	5	0	13	13	17	9
	Gasóleo-C	5	6	9	16	5	0	13	13	17	9
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Gas	13	7	15	16	23	0	2	18	22	17
	Electricidad	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
ACS individual	GLP	78	80	68	52	0	100	71	56	44	0
	Gasóleo-C	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Biomasa	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Carbón	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Gas	0	0	0	0	65	0	0	0	0	65
	Electricidad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tabla 10: % de metros cuadrados totales de agua caliente sanitaria en función del combustible utilizado para MFH en Madrid. [22]

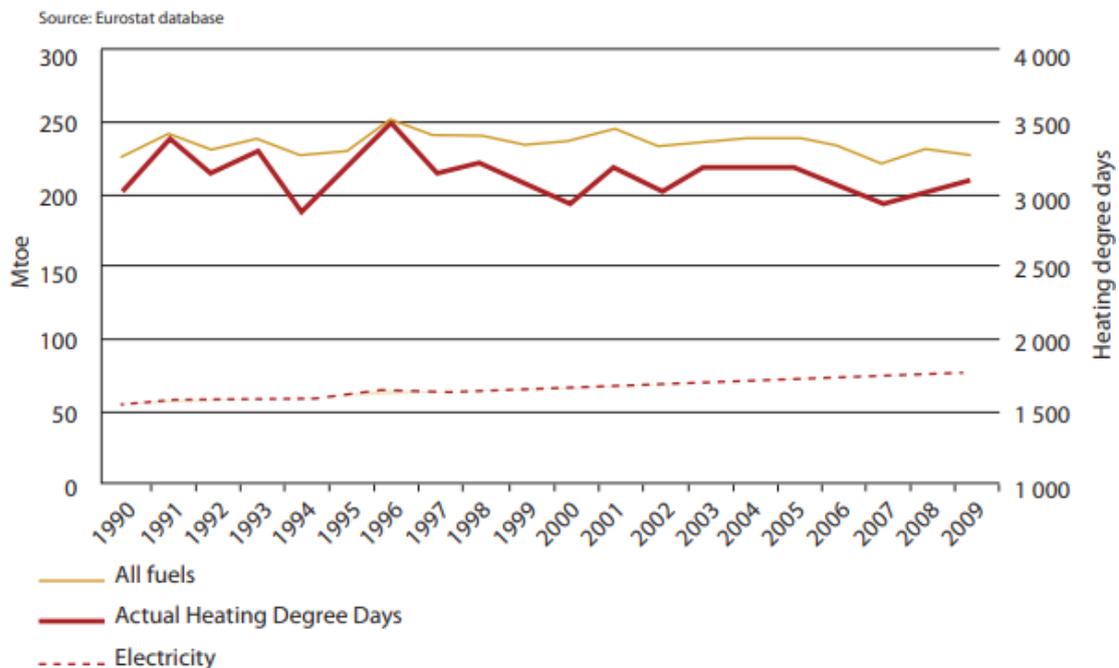
		España	Zona Atlántica	Zona Continental	Zona Mediterránea
Calefacción	Caldera Convencional	7.662.435	1.226.372	4.135.681	2.300.382
	Caldera de Condensación	216.715	35.564	110.033	71.118
	Bomba de Calor No Reversible	3.204.291	6.259	455.429	2.742.603
	Bomba de Calor Reversible	92.878	19.173	30.253	43.452
	Radiador/Convector/Acumulador Eléctrico	3.513.884	527.308	781.417	2.205.160
	Paneles solares	154.797	28.344	68.805	57.648
	Calefactor/Radiador Portátil Eléctrico	3.606.762	356.861	609.196	2.640.706
	Calefactor/Radiador Portátil No Eléctrico	727.544	106.471	203.139	417.935
	Otros	1.222.894	159.988	387.960	674.945
ACS	Caldera Colectiva	997.579	134.704	725.934	136.941
	Caldera Individual	15.978.456	2.117.247	5.022.109	8.839.100
	Caldera Convencional	10.543.373	1.599.205	3.826.112	5.118.057
	Termo Eléctrico	4.919.094	446.841	1.030.876	3.441.377
	Estufas	240.795	27.219	29.104	184.472
	Caldera de Condensación	275.194	44.054	136.854	94.286
Paneles solares	223.595	2.253	28.914	192.428	
Refrigeración	Portátil	521.458	16.441	202.486	302.531
	Aire Acondicionado	1.320.467	1.192	578.338	740.937
	Bomba de Calor	6.568.693	6.967	1.493.536	5.068.190

Tabla 11: Número total de equipos en función de la zona climática. [32]

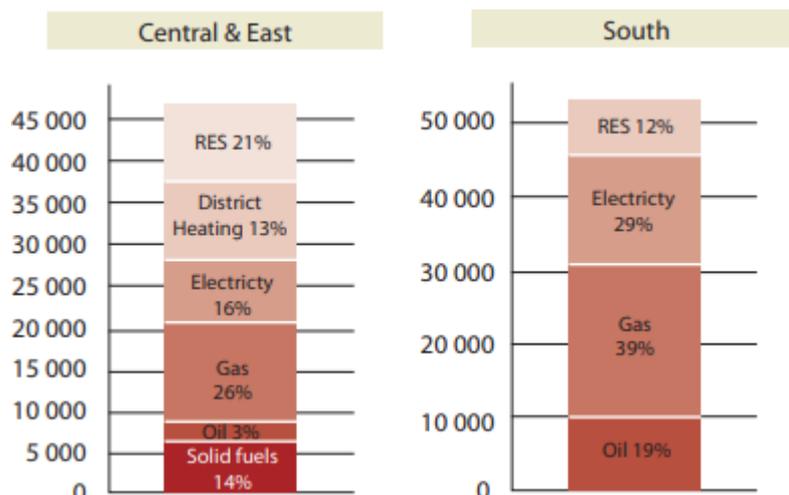
		España	Pisos	Unifamiliares
Calefacción	Caldera Convencional	7.662.435	5.531.558	2.130.877
	Caldera de Condensación	216.715	189.143	27.572
	Bomba de Calor No Reversible	3.204.291	2.190.828	1.013.463
	Bomba de Calor Reversible	92.878	62.676	30.202
	Radiador/Convector/Acumulador Eléctrico	3.513.884	2.470.724	1.043.160
	Paneles solares	154.797	82.117	72.679
	Calefactor/Radiador Portátil Eléctrico	3.606.762	2.370.497	1.236.265
	Calefactor/Radiador Portátil No Eléctrico	727.544	373.571	353.973
	Otros	1.222.894	734.127	488.767
ACS	Caldera Colectiva	997.579	919.778	77.801
	Caldera Individual	15.978.456	11.098.159	4.880.298
	Caldera Convencional	10.543.373	7.373.133	3.170.241
	Termo Eléctrico	4.919.094	3.360.263	1.558.832
	Estufas	240.795	143.452	97.343
	Caldera de Condensación	275.194	222.272	52.922
	Paneles solares	223.595	36.399	187.196
Refrigeración	Portátil	521.458	423.944	97.514
	Aire Acondicionado	1.320.467	1.030.988	289.479
	Bomba de Calor	6.568.693	4.493.560	2.075.134

Tabla 12: Número total de equipos en función del tipo de vivienda. [32]

En el artículo del BPIE realizado por Economidou, M. et al. [4] podemos encontrar información sobre el parque europeo en general. En él, se muestran los porcentajes sobre el tipo de fuente de energía utilizada en función de la región y el año. Este artículo no muestra el tipo de equipos que se usa ni su estado. Estos datos se muestran en la gráfica 5 y gráfica 6



Gráfica 5: Evolución histórica de las fuentes de energía en la UE en el sector residencial. [4]



Gráfica 6: Fuentes de energía utilizadas en UE en el sector residencial en función de la región. [4]

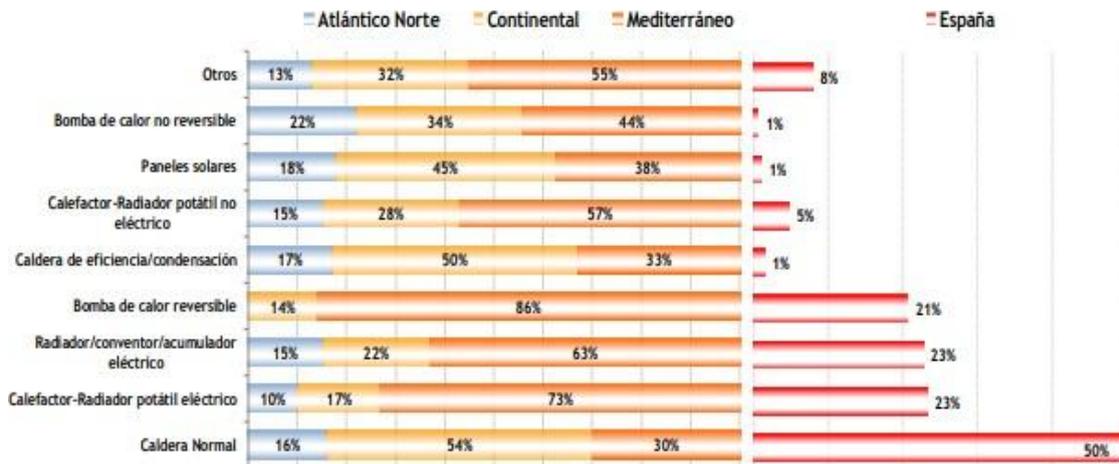
Con respecto al parque europeo, EPISCOPE-TÁBULA [2] también muestra las fuentes de energía y equipos más utilizados en los edificios europeos, desglosados por país y periodo constructivo dando datos descriptivos de las máquinas utilizadas. Estos datos servirán para especificar los rendimientos de cada uno de los equipos, previamente seleccionados con los datos estadísticos aportados por el documento Escala de calificación energética para edificios existentes. Cuadernos de Eficiencia Energética de Salmerón, J. M. et al. para el IDAE [22] y BPIE en el artículo de Economidou, M. et al. [4].

Información muy parecida a nivel europeo es la que especifica la publicación “Passive House Retrofit” [7] pero en este caso vemos que esta información es menos precisa ya que los equipos que se presentan en este estudio se repiten mucho entre periodos constructivos, dando a entender que no se ha llegado a un nivel de detalle tan profundo como los que se presentan en EPISCOPE-TABULA [2].

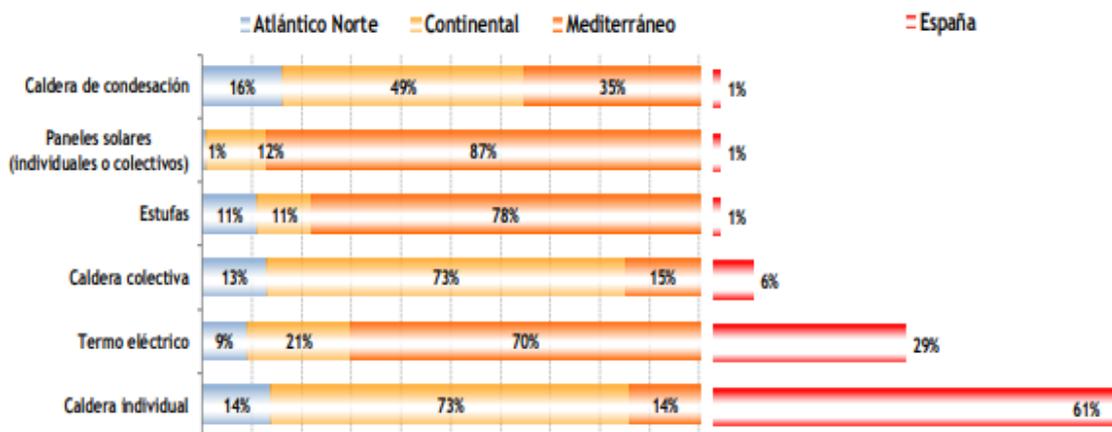
La publicación del IVE, Catálogo de tipología edificatoria residencial [27], es perfecta la definición de los equipos más usados en España y a que llega a nivel de detalle que llegaría EPISCOPE-TÁBULA (es lógico ya que EPISCOPE-TÁBULA se alimenta de esta publicación del IVE) y están en función de los periodos constructivos y el tipo de vivienda. De esta publicación se podrán escoger los datos descriptivos para la definición de los equipos más presentes (escogidos gracias a los datos estadísticos) en el parque edificatorio español.

La publicación de los resultados del proyecto SECH-SPAHOUSEC [25] también desglosan los datos estadísticos sobre la cantidad de viviendas que disponen de calefacción, ACS y aire acondicionado dependiendo de la región (a repartir entre Atlántico Norte, Continental y Mediterráneo de la Figura 1) e incluso llegando a nivel de profundidad del dato estadístico sobre el tipo de equipo que se utiliza en cada una de las regiones climáticas para calefacción, ACS y aire acondicionado. Datos que se muestran en la gráfica 7, gráfica 8 y gráfica 9.

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



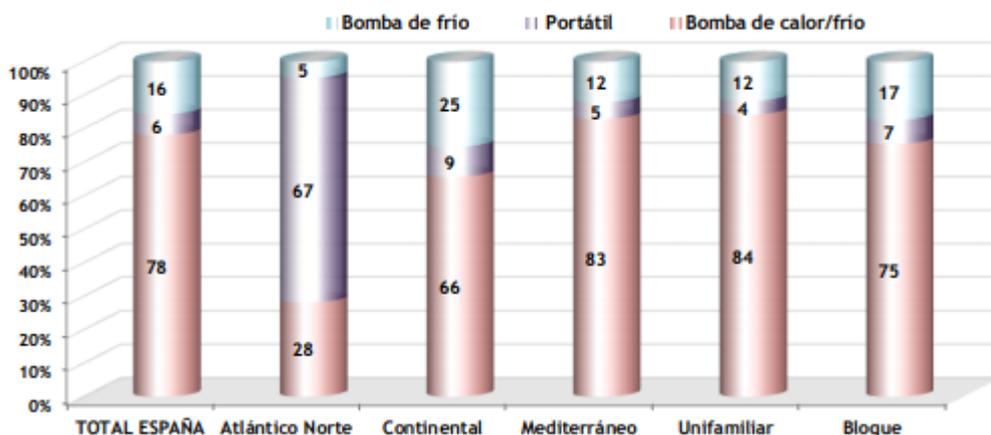
Gráfica 7: Sistemas de Calefacción por zona climática. [25]



Gráfica 8: Sistemas de ACS según zona climática. [25]

Transmitancia térmica lineal de puentes térmicos

Los puentes térmicos son las uniones entre los diferentes ítems de una construcción. Por ejemplo, la zona de contacto entre la cubierta y un muro sería un puente térmico. Son lugares de gran pérdida



Gráfica 9: Sistemas de Refrigeración por zona climática y tipo de vivienda. [25]

energética debido a que son momentos en los que se interrumpe el aislante haciendo que sean más débiles a las infiltraciones y teniendo más transmitancia térmica. Existen métodos constructivos novedosos en los que el aislamiento no se interrumpe, haciendo que el mismo pase entre viguetas o se consigan instalar en

Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



los puentes térmicos gracias a los estados físicos de los polímeros utilizados. Son un punto muy importante ya que las pérdidas de energía por estos puntos son muy cuantiosas y no supone un gasto excesivo la instalación de aislantes en los puentes térmicos.

En publicaciones como ASIEPI de Antoine Tilmans y Dirk Van Orshoven [3] nos muestran diferentes softwares para la normalización de los puentes térmicos dentro de la normativa europea EN ISO 10211:2007. Además, se presenta la relación de programas informáticos indicando cuales están dentro de las normativas de construcción.

Para poder aplicar datos descriptivos a nuestro propósito, la normativa española UNE-EN ISO 14683:2000, Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto. [33] nos muestra la transmitancia lineal tomada por defecto en tejados, balcones, esquinas, suelos, paredes internas, pilares y puertas y ventanas. Gracias a estos datos descriptivos podremos simular la pérdida de energía debido a estos puntos críticos, acercando más los edificios de referencia a la realidad.

4.3 Tabla resumen de los estudios citados

GEOMÉTRICOS											
	Tipo	Forma de la Planta	Sup. Const.	Nº Plantas	Sup. Paredes Al Exterior	Sup. huecos	Sup. Medianeras	Sup. Cubierta	Sup. Suelo	Compacidad	Datos Climáticos
IDAE											
BPIE											
EPISCOPE											
Martín-Consuegra et al.											
ASIEPI											
IVE Catálogo de tipología edificatoria residencial											
E-Retrofit-Kit. Tool-Kit for "Passive House Retrofit"											
Consumos del Sector Residencial en España											
PROYECTO SECH-SPAHOUSEC											
Corgnati et al.											
Adaptive Comfort Models in Mediterranean Climate											
UPDATE OF THE SPANISH REGULATION REGARDING VENTILATION AND INFILTRATION											
UNE-EN ISO 14683:2000											

COEFICIENTES TÉRMICOS Y SISTEMAS						
	U-values	Air tightness	HVAC systems	DHW systems	Fuentes de Energía	Puentes térmicos
IDAE						
BPIE	Cost opt					
EPISCOPE						
Martín-Consuegra et al.						
ASIEPI						
IVE Catálogo de tipología edificatoria residencial						
E-Retrofit-Kit. Tool-Kit for "Passive House Retrofit"						
Consumos del Sector Residencial en España						
PROYECTO SECH-SPAHOUSEC						
Corgnati et al.						
Adaptive Comfort Models in Mediterranean Climate						
UPDATE OF THE SPANISH REGULATION REGARDING VENTILATION AND INFILTRATION						
UNE-EN ISO 14683:2000						

- Información Estadística Relativamente Desarrollada
- Información Estadística Muy Desarrollada
- Información Descriptiva Relativamente Desarrollada
- Información Descriptiva Muy Desarrollada
- Sin Información

5 ANALISIS DE AGRUPACION DE EDIFICIOS DE REFERENCIA (CLUSTERS)

Debido al objetivo de implementar mejoras en los edificios existentes en el área del Mediterráneo, como se mencionó anteriormente, fue necesario generar una serie de Edificios de Referencia (RB). Los edificios reales existentes tienen diferentes naturalezas constructivas, por lo que es necesario hacer una clasificación con el objetivo de aglomerar los tipos que son congruentes entre sí. Esta metodología es llamada clusterización.

La agrupación es un enfoque que divide automáticamente los datos en subgrupos (agrupaciones o clusters), y se ha utilizado ampliamente en el campo de investigación de energía del edificio para diferentes propósitos, como identificar perfiles de ocupación típicos, patrones de comportamiento, perfiles de carga, factores clave explicativos de la eficiencia energética del edificio y evaluación comparativa del rendimiento energético.

Los indicadores descriptivos considerados incluyen:

- Características geométricas que definen las dimensiones de la envoltura;
- Características térmicas que definen los materiales y métodos de construcción;
- Características posicionales que definen la posición del edificio en relación con otros edificios.

Como las variables altamente correlacionadas causan problemas para los resultados del análisis de agrupación, la eliminación de variables debe realizarse para descontar las variables redundantes antes de la agrupación. Para ello se dividen en características geométricas y características térmicas pudiendo esclarecer qué edificios tienen en común una geometría y característica térmica para poder ser agrupados en el mismo Cluster.

Para las características geométricas se establecieron cuatro variables de agrupación:

- Área de la planta: cuatro tipos (<150 m², 150-600 m², 600-1000 m², >1000 m²).
- Forma de la planta: cuatro tipos con similitud geométrica a diferentes letras (C, I, L, U).
- Número de plantas: tres tipos (<3 plantas, 3-6 plantas, >6 plantas)

Para las características térmicas se contemplan once tipologías diferentes en relación con la transmisividad térmica de cada uno de los elementos constructivos a valorar (Muros, cubiertas, suelos y ventanas). Se les da valor alfabético de menor transmisividad a mayor transmisividad térmica desde la letra A, siendo el mayor aislamiento o menor transmisividad térmica, hasta la letra K, siendo esta la de mayor transmisividad térmica y menor eficiencia con respecto al aislamiento. La caracterización térmica general de los diferentes edificios de los países se ve reflejada en el ANEXO C en el que se muestran las características térmicas del cómputo global de edificios analizados.

El último punto analizado es el de las características posicionales en el que se establecen tres tipos de posición. Se presentan como aislados (No están en contacto con ningún otro edificio), Semiaislados (Está en contacto con un edificio solo por una de las caras) y completamente rodeados (Está en contacto con dos edificios por dos caras). Este punto fue incluido en las características geométricas, haciendo que forme parte de la forma del edificio.

Con lo cual, en este trabajo se utilizaron cinco variables diferentes (valores U, área de planta, forma de planta, número de pisos y paredes en contacto con otro edificio) con respecto a los indicadores anteriores. Los grupos que se formaron para cada variable se presentan en la siguiente tabla (los valores de los grupos de cada variable se presentan en el Anexo C).

Variables	U-Values	Footprint Area	Shape	Number of Floors	Party Walls
Number of Clusters	11	4	4	3	3

Tabla 13: Número de clusters por variable

La combinación de estos grupos iniciales conduce a los grupos totales, que se muestran en la tabla 14.

El código TXX significa el número del Clúster Térmico que condensa las propiedades térmicas de las paredes, suelo sobre el rasante, los techos y el acristalamiento siguiendo los criterios que figuran en el Anexo C.

El código CYY significa el número del grupo de construcción que condensa el área de la planta, la forma, el número de pisos y el número de paredes en contacto con otro edificio.

Sobre la base de los conceptos de análisis de grupos, la formación de grupos se consideró adecuada en esta etapa y es un enfoque innovador aplicado en este proyecto. Los principales objetivos del clustering son los siguientes:

1. Cuantificar el número total de casos diferentes que se optimizarán con las soluciones óptimas.
2. Identificar entre los casos anteriores a los más representantes para comenzar a obtener los paquetes de soluciones para ellos y luego verificar su desempeño en el número total de casos.

PERIOD	TYPE	COUNTRY						
		GREECE	SPAIN	ITALY	SLOVENIA	CYPRUS	CROATIA	FRANCE
<1980	SFH	T10C1	T1C1	T8C1	T6C5	T9C2	T7C1	T3C1
	MFH	T10C7	T10C6	T8C7	T6C9	T9C14	T3C9	T10
1981-2000	SFH	T11C1	T2C1	T2C1	T6C5	T9C5	T7C1	T4C1
	MFH	T9C7	T4C7	T12C15	T13C7	T9C14	T14C15	T4C1
2001-2010	SFH	T12C1	T2C4	T2C1	T5C3	T2C3	T7C1	T5C1
	MFH	T2C7	T5C10	T7C12	T5C8	T2C9	T4C7	T5C11

Tabla 14: Clusters totales

5.1 Número total de casos

Al analizar la tabla 14, es posible identificar 16 tipologías diferentes para casas unifamiliares y 21 tipologías diferentes para casas multifamiliares. La cifra más baja en el SFH se debe a que se repiten tres tipologías en diferentes países y períodos. Este es el caso de las tipologías T2C1 que están presentes en Italia en los períodos 1981-2000 y > 2001 y en España en 1981-2000. T6C5 se repite en Eslovenia en <1980 y 1981-2000 períodos; y T7C1 se repite en Croacia en los tres períodos.

Las tipologías para un país determinado se utilizarán para evaluar las soluciones óptimas en los climas de referencia presentes en este país. El número de combinaciones de tipologías de RB y climas de referencia se ha calculado y lleva a un total de 51 SFH diferentes y 63 MFH diferentes (114 casos diferentes) para optimizar.

Debido al alto número de edificios de referencia que se tendrían en cuenta, se implementaron formas de reducir el número de casos. Una de las opciones que se estudiaron fueron la reducción de la cantidad de tipos de características térmicas, haciendo que el número de letras sea menor, es decir, que cada letra aglomere un conjunto mayor de transmisividades térmicas. Se realizaron dos reducciones de

cantidad de tipos de valores de transmisividad térmica. La primera reducción se realizó para obtener ocho tipos diferentes (Desde la A a la H). La segunda reducción se realizó para obtener cinco tipos diferentes (Desde la A a la D). Una vez analizada esta opción, se observa que no reduce en gran número los clusters generales, incluyendo el análisis de características geométricas y características posicionales.

Debido a esto, se replanteó la situación en búsqueda de un análisis que reduzca el número total de agrupaciones y que sea fidedigno al parque edificatorio. Para ello se realizó una búsqueda de métodos de clusterización previamente implementados en otros proyectos que serán presentados a continuación.

5.2 Representante de cada Cluster

Después de lo observado, el número de casos a estudiar es muy grande para realizar un proceso de pasadas masivas de implementación de mejoras en búsqueda de las soluciones óptimas. Debido a esto, se estudiaron diferentes opciones para poder obtener agrupaciones que incluyan una mayor cantidad de edificios descritos y, con lo cual, un número menor de casos. Se optó en seguir caminos indirectos para buscar los edificios de objeto a estudio y que no sean un número muy elevado de los mismos. De esta forma, conseguiremos un número limitado de casos a estudiar y podremos realizar las pasadas masivas de mejoras a implementar de una forma manejable, adaptando la descripción del parque edificatorio mediterráneo europeo a una muestra representativa, dimensionada y adaptada a las posibilidades que ofrecen los ordenadores que realizaran el cálculo de la implementación de mejoras constructivas. A continuación, se presentan las metodologías elegidas en este proceso de clusterización o agrupamiento, las cuales ya han sido aplicadas en diferentes estudios de parques edificatorios y elección de edificios de referencia.

Para identificar las tipologías más representativas, hemos empleado el agrupamiento jerárquico con el método de variación mínima de Ward (Ward Jr 1963) [34], que es un método que no es muy común pero que se ha identificado en estudios recientes (Patteeuw et al. 2018) [35] como muy interesante y factible para agrupar un parque de edificios en edificios representativos, "el agrupamiento jerárquico se emplea ya que conduce a un único resultado reproducible". Para ello se han reproducido todos los edificios que aportaron los diferentes socios de sus correspondientes países y se han evaluado energéticamente obteniendo datos de consumo energético por metro cuadrado. Lo menos flexible de este método es que solo se le puede dar un tipo de dato de entrada, en este caso el consumo, sin poder incluir dos variables como podrían ser las variables térmicas y las variables geométricas. Para obtener los consumos se ha realizado un cálculo aproximado considerando una ponderación de tramitancias térmicas de los diferentes cerramientos con respecto al área que ocupan en la envolvente del edificio.

Este agrupamiento jerárquico ha sido realizado por la herramienta SPSS ©, utilizando distancias euclidianas y el método de vinculación de Ward. El número de agrupaciones es el número de edificios representativos para el modelo agregado. Esto se puede interpretar en la siguiente figura (figura 6) como "cortar el árbol del grupo" a un cierto valor del vínculo de Ward (Eje de abcisas). Dada la descripción del método, el número de grupos representativos con un valor de vinculación de Ward inferior a 5 es bastante fidedigno, y por lo tanto realmente representativo de la población total. Vemos que, si "cortamos el árbol" en un número de Ward menor de 5, pueden obtenerse 9 o 4 representantes o Clusters.

Las siguientes tablas (Tabla 15, tabla 16) resumen los grupos de RB obtenidos con esta metodología. La celda resaltada es el edificio representativo del cluster, el cual será el que usaremos como objeto de estudio para la implementación de mejoras constructivas y pasadas masivas.

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



No. CLUSTER	Representative Buildings in each Cluster SFH/MFH								
	No. of building (1-42)_Country Code								
1	MFH 18_CY	SFH 15_CR	MFH 14_CR	MFH 2_SP	SFH 3_SP	MFH 15_CR	SFH 6_FR	MFH 12_IT	SFH 9_SL
2	MFH 5_FR	MFH 3_SP	MFH 6_FR	MFH 9_SL					
3	MFH 21_GR	SFH 8_SL	MFH 8_SL	MFH 11_IT	SFH 5_FR				
4	SFH 2_SP	SFH 21_GR	MFH 4_FR	MFH 17_CY					
5	SFH 18_CY	SFH 14_CR	MFH 1_SP	SFH 7_SL	MFH 7_SL	MFH 10_IT	MFH 13_CR	MFH 20_GR	
6	MFH 19_GR	SFH 4_FR	SFH 12_IT						
7	SFH 13_CR	SFH 10_IT	SFH 11_IT	MFH 16_CY	SFH 1_SP	SFH 17_CY			
8	SFH 16_CY	SFH 20_GR							
9	SFH 19_GR								

Tabla 15: RBs de cada cluster para una situación de 9 clusters

No. CLUSTER	Representative Buildings in each Cluster SFH/MFH								
	No. of building (1-42)_Country Code								
1	MFH 18_CY	SFH 15_CR	MFH 14_CR	MFH 2_SP	SFH 3_SP	MFH 15_CR	SFH 6_FR	MFH 12_IT	SFH 9_SL
	MFH 5_FR	MFH 3_SP	MFH 6_FR	MFH 9_SL					
	MFH 21_GR	SFH 8_SL	MFH 8_SL	MFH 11_IT	SFH 5_FR				
2	SFH 2_SP	SFH 21_GR	MFH 4_FR	MFH 17_CY					
	SFH 18_CY	SFH 14_CR	MFH 1_SP	SFH 7_SL	MFH 7_SL	MFH 10_IT	MFH 13_CR	MFH 20_GR	
3	MFH 19_GR	SFH 4_FR	SFH 12_IT						
	SFH 13_CR	SFH 10_IT	SFH 11_IT	MFH 16_CY	SFH 1_SP	SFH 17_CY			
4	SFH 16_CY	SFH 20_GR							
	SFH 19_GR								

Tabla 16: RBs de cada cluster para una situación de 4 clusters

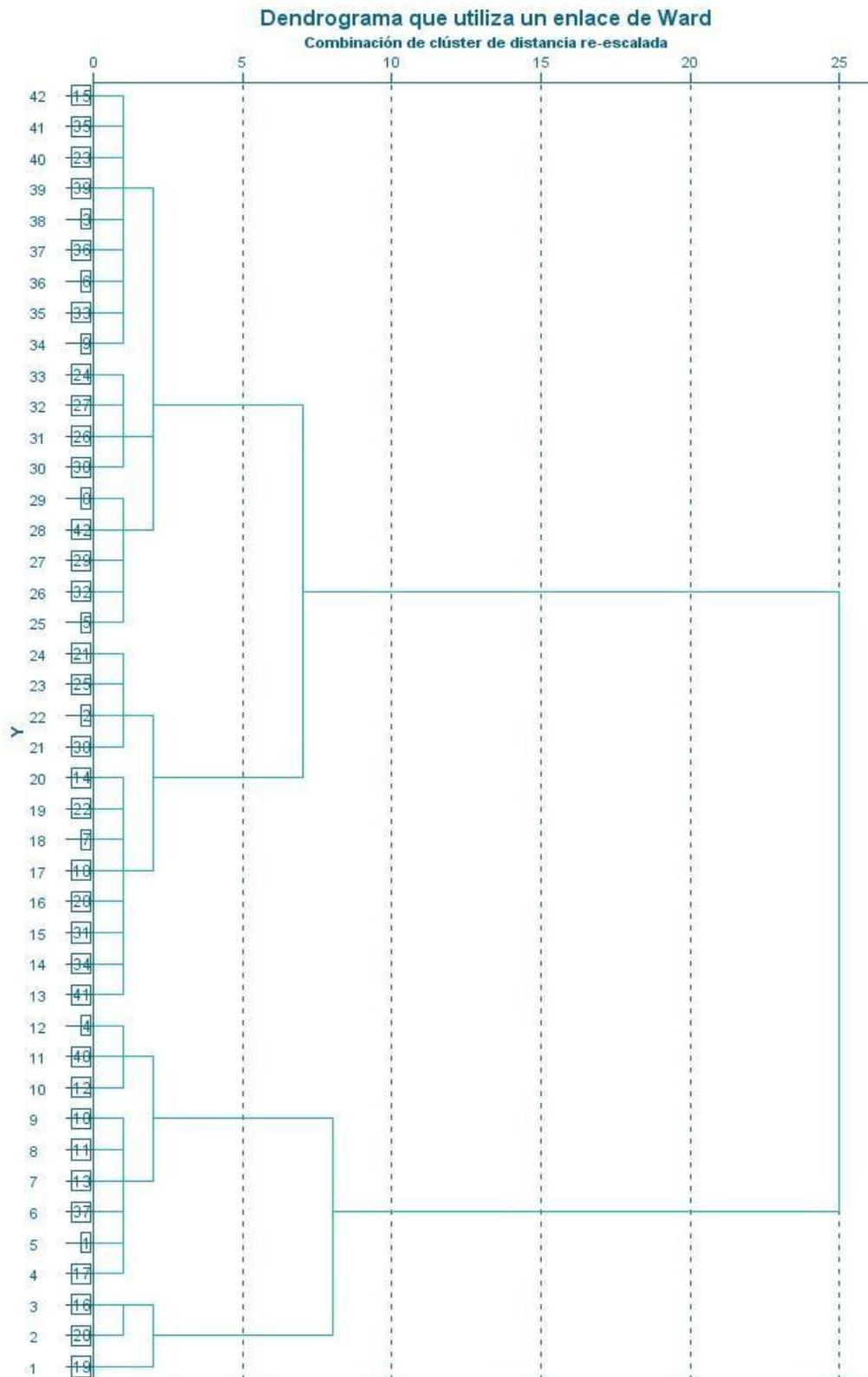


Figura 6: Dendrograma de agrupamiento jerárquico para los 6 RB de cada uno de los 7 países (42 edificios diferentes)

6 APLICACIÓN DE EDIFICIOS DE REFERENCIA

6.1 Implementación de mejoras y búsqueda de coste óptimo

Una vez definida una cantidad manejable de edificios de referencia, el siguiente paso será cuantificar el consumo de los casos bases e ir implementando mejoras constructivas. La envolvente es crucial para cuantificar la interacción entre interiores y exteriores. El aislamiento puede implementarse en todo el edificio o en una parte de este, como paredes externas o techos. Los materiales aislantes pueden reducir la transferencia de calor a través de la envolvente, minimizando las ganancias de calor durante el verano y las pérdidas de calor durante el invierno. Una medida frecuente fuera de la envolvente es la instalación de dispositivos de protección externos en las ventanas. Cambiando el tipo de ventanas se observa un cambio considerable en el rendimiento de la envolvente. Según Delia D'Agostino et al. [36], las ventanas de doble o triple acristalamiento de baja emisividad pueden reducir el consumo de energía en más del 40% por m² de superficie acristalada en comparación con el acristalamiento simple. Las películas y los recubrimientos se pueden usar en acristalamientos existentes para limitar la ganancia solar.

Otra mejora que aumenta considerablemente el ahorro de energía es la optimización de la continuidad de aislantes. Los puentes térmicos son los puntos de fuga de energía más críticos de toda la envolvente. Después del cálculo base de consumo de uno de los edificios de referencia y el posterior estudio del mismo después de haber mejorado los puentes térmicos, podemos observar mejoras del 19%. Es un punto importante, aunque da lugar a debate ya que la implementación real de aislante en los puentes térmicos en edificios ya construidos puede ser muy costosa debido a los métodos de construcción reales, haciendo que esta mejora, aunque suponga un gran ahorro de energía, puede no ser interesante desde el punto de vista económico.

Gracias al programa "Herramienta Unificada LIDER-CALENER" podremos cuantificar el consumo anual de cada una de las construcciones estudiadas (tanto los edificios de referencia como los mejorados). La metodología de evaluación se basa en el artículo de la autora Delia D'Agostino et al. [36] antes mencionado. De esta publicación se desprende un diagrama de flujo (Figura 7) con el método de evaluación para la búsqueda del punto óptimo de mejora.

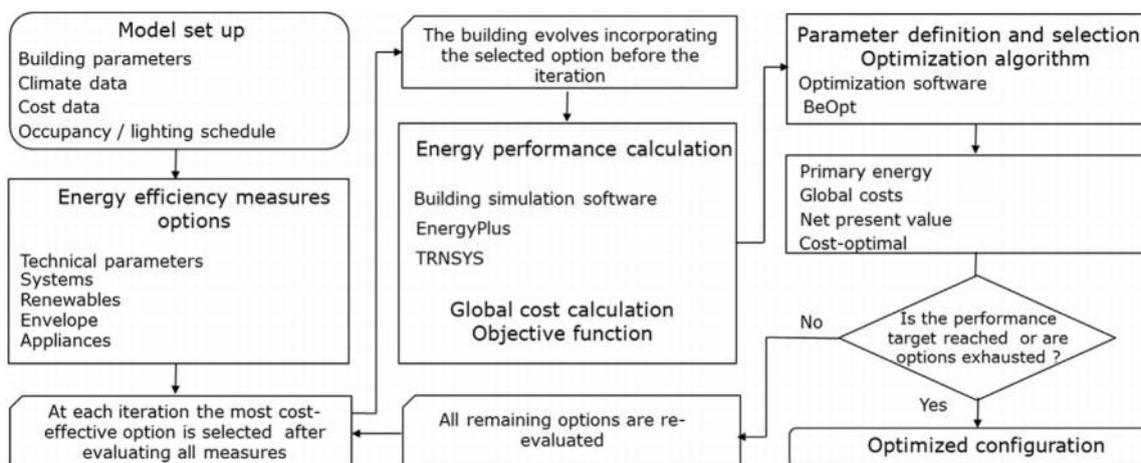


Figura 7: D. D'Agostino, D. Parker / Energy 149 (2018) 814-829 [36]

Esta figura muestra la forma de proceder para la implementación de mejoras constructivas en búsqueda de punto óptimo de edificios. Puede ser un interesante resumen del trabajo realizado por el Grupo de termotecnia y los diferentes socios del proyecto HAPPEN, donde se engloba este trabajo. En primer lugar, partiremos del manejo de la información presentada por los socios sobre su parque

Caracterización del parque edificatorio residencial en España. Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



edificatorio, cosa que ha sido objeto de estudio de este documento. Una vez analizada la muestra representativa del stock de viviendas de cada país, nos dispondremos a realizar la Clusterización previamente mencionada en el punto 5. Gracias a la agrupación de edificios parecidos en términos energéticos, conseguiremos una muestra menor y manejable de los edificios representativos de cada país y época.

Paralelamente a este estudio sobre el parque edificatorio, se elaboró el estudio climático de la zona mediterránea europea (y demás Europa ya que se disponían de los datos). Este análisis se describe en el punto 3.3 de este documento. Gracias a los datos aportados por diferentes estaciones meteorológicas y el método de severidad climática estacional, podemos catalogar las diferentes zonas por lo extremo que sea su invierno y lo extremo que sea su verano.

Una vez obtenido este mapa climático y realizada la clusterización, solo quedará evaluar los edificios representativos dados por el método de WARD en cada uno de los climas. No hará falta evaluar todos los edificios en todos los climas obviamente ya que existen 18 climas diferentes para 4 o 9 edificios de referencia elegidos. Si hiciésemos una evaluación completa, en primer lugar, incurriríamos en el mismo problema que tuvimos previo a la clusterización, que era la sobredimensión de casos para hacer pasadas masivas sobre ellos, siendo imposible por la cantidad de tiempo que se necesitaría. En segundo lugar, no sería lógico evaluar un edificio en un clima en el que nunca se va a encontrar. Lógicamente, solo se evaluarán los edificios de cada país en los climas representativos de ese país, es decir, si un edificio está presente en Chipre evaluaremos su representante en los climas chipriotas.

Existen varios estudios centrados en la búsqueda del coste óptimo. Una metodología interesante es la presentada por Paolo Zangheri et al. [\[37\]](#) en el cual se hace un estudio paso a paso (Step-by-Step) para la implementación de las mejoras constructivas. Esto es debido a que una inversión total del paquete de mejoras completo no puede ser abordada por el usuario, con lo cual se le presenta una renovación total por etapas, indicando qué etapas son las prioritarias para un ahorro máximo durante esos años de uso. En este artículo se realiza un estudio con metodología similar al que nos ocupa:

- Paso 1: selección de las zonas climáticas representativas dentro de la Unión Europea.
- Paso 2: definición de los tipos de construcción de referencia y la determinación de los niveles de consumo base.
- Paso 3: selección de medidas de renovación y paquetes aplicables a los tipos de edificios.
- Paso 4: ejecución de cálculos de energía para cada combinación de medidas de modernización, con la determinación de la demanda de energía.
- Paso 5: ejecución de cálculos económicos para cada combinación de medidas de modernización, determinando los costos de inversión y los costos globales durante el período de cálculo.

La representación de resultados después de la implementación cada uno de los paquetes de mejora se da de la siguiente forma, siendo diferente el eje de coordenadas ya que nuestro estudio se centra en el tiempo de retorno de la inversión y el estudio de Paolo Zangheri et al. [\[37\]](#) se centra en el coste anual por metro cuadrado en 30 años.

Es importante anotar que el contexto donde se engloba este documento, el proyecto HAPPEN, pretende ser una herramienta de uso común a todos los usuarios, con lo cual, un punto muy importante en la generación de esta herramienta de búsqueda de coste óptimo es que el usuario vea reflejada su vivienda en alguna de las viviendas que se hayan implementado las pasadas masivas de mejoras constructivas. Para ello, el estudio del parque edificatorio de cada país es muy importante ser minucioso y el posterior agrupamiento debe de ser fidedigno con los datos presentados. Por estos motivos los parques edificatorios se han estudiado de una forma estadística y descriptiva con miras de que toda la población o por lo menos la gran mayoría de la población, pueda ver reflejado su edificio en alguno de

los estudiados en este documento.

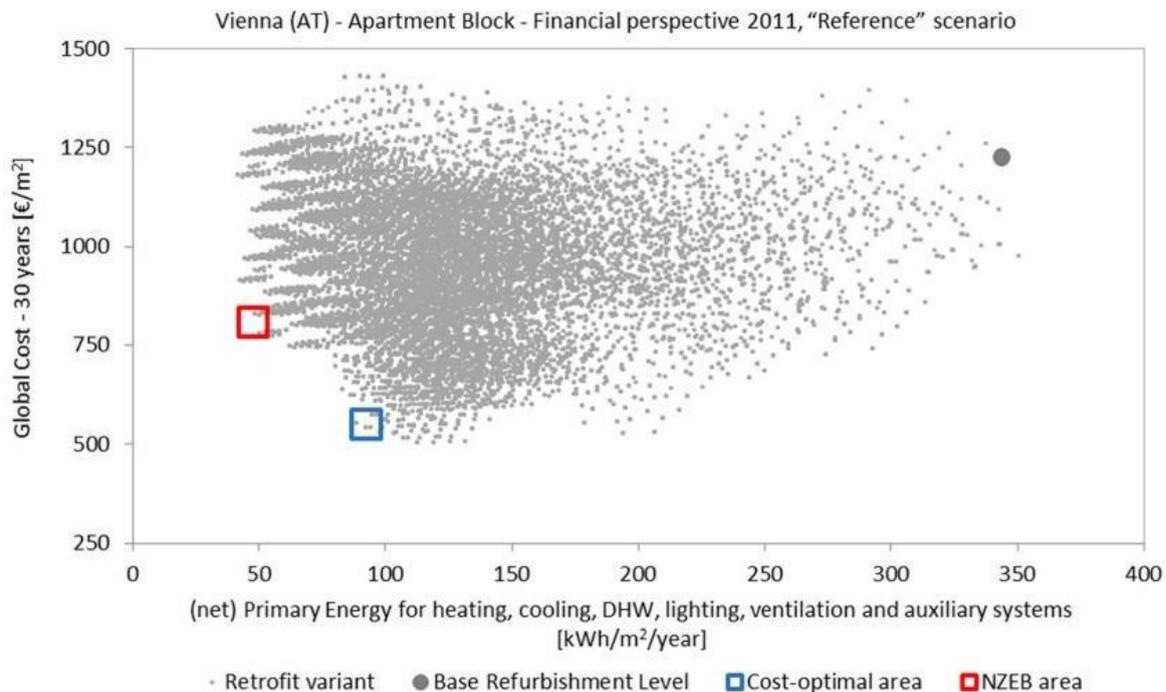


Figura 8: Ejemplo de nube de puntos del costo de energía, obtenida para bloque de apartamentos ubicado en Viena (perspectivas financieras 2011, escenario "Referencia"). Paolo Zangheri et al. [37]

Este tipo de estudio ya se ha realizado en otros artículos siendo un método bastante fiable en la evaluación de la implementación de mejoras constructivas. Gracias a esa evaluación podremos determinar si existe interés económico en la renovación parcial o total de la envolvente y equipos con miras de ahorro. Está claro que la aplicación real de esta herramienta es de gran interés medioambiental, ya que la reducción del consumo energético de los hogares supondría un ahorro muy importante de energía.

Hay que anotar que en los estudios previamente mencionados solo evalúan un edificio real sin poder extrapolarse a una gran población. Como antes hemos mencionado, es un punto importante que los usuarios que visiten la herramienta de implementación de mejoras vean reflejada su vivienda. Este objetivo también ha sido caso de estudio de otros artículos, pero nunca se había llegado a tanto detalle como este.

Con lo cual, es importante para la renovación de los parques edificatorios los siguientes puntos. Que la muestra de edificios sea representativa para gran parte de la población y que la profundidad de análisis sea la suficiente para que sea fidedigna la implementación de mejoras.

7 ANEXO A

• PLANTILLA

COUNTRY														
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF EXTERNAL WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)	DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.	
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings								Cooling System. Seasonal Energy Efficiency Ratio. Energy Source	Solar contribution	
<1980									ROOF					
									SLAB ON GRADE					
									WALL					
									WINDOW					
1981-2000									ROOF					
									SLAB ON GRADE					
									WALL					
2000-2010									ROOF					
									SLAB ON GRADE					
									WALL					
									WINDOW					

8 ANEXO B

8.1 España

SPAIN														
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF EXTERNAL WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)		DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings										
<1980	SFH	Terraced House	116	2	116	Façade N 84.1	Façade N 0	32	ROOF	2.67	(1)	12	Boiler η=0.85	Boiler η=0.85
				Façade E 46.4		Façade E 0	18	SLAB ON GRADE	1.07	(2)	Natural Gas		Natural Gas	
				Façade S 84.1		Façade S 0	18	WALL	1.33	(3)	N/A		0%	
				Façade W 46.4		Façade W 0	18	WINDOW	5.70	(4)	SEER N/A		---	
	MFH	Multi Family House	240	6	240	Façade N 348	Façade N 0	20	ROOF	2.40	(5)	9	N/A	Boiler
				Façade E 69.9		Façade E 208.8	0	SLAB ON GRADE	1.70	(6)	η N/A		η=0.85 Natural Gas	
				Façade S 348		Façade S 0	20	WALL	1.17	(7)	N/A		---	
				Façade W 69.9		Façade W 208.8	0	WINDOW	5.70	(8)	SEER N/A		0%	
1981-2000	SFH	Terraced House	107.2	2	107.2	Façade N 88.74	Façade N 0	30	ROOF	0.61	(9)	9	Boiler η=0.85	Boiler η=0.85
				Façade E 40.6		Façade E 0	20	SLAB ON GRADE	0.85	(10)	Natural Gas		Natural Gas	
				Façade S 88.74		Façade S 0	30	WALL	0.60	(11)	Air conditioning system SEER 1.6		0%	
				Façade W 40.6		Façade W 0	20	WINDOW	3.37	(12)	Electricity		---	
	MFH	Multi Family House	200	6	200	Façade N 330.6	Façade N 0	38 ⁵	ROOF	0.61	(9)	9	Central Boiler η=0.85	Boiler η=0.85
				Façade E 0		Façade E 183	0	SLAB ON GRADE	0.85	(10)	Natural Gas		η=0.85 Natural Gas	
				Façade S 330.6		Façade S 0	24	WALL	0.60	(11)	Individual Air conditioning system SEER 1.6		0%	
				Façade W 0		Façade W 183	0	WINDOW	3.37	(12)	Electricity		---	
2001-2010	SFH	Terraced House	64.5	3	64.5	Façade N 65.2	Façade N 0	15	ROOF	0.48	(13)	6	Boiler η=0.95	Boiler η=0.95
				Façade E 0		Façade E 74.8	0	SLAB ON GRADE	0.71	(14)	Natural Gas		Natural Gas	
				Façade S 65.2		Façade S 0	25	WALL	0.48	(15)	Air conditioning system SEER 1.8		30%	
				Façade W 0		Façade W 74.8	0	WINDOW	3.37	(12)	Electricity		---	
	MFH	Multi Family House	1009.1	7	1009.1	Façade N 447	Façade N 191.6	24	ROOF	0.48	(13)	6	Central Boiler η=0.95	Boiler η=0.95
				Façade E 447		Façade E 191.6	24	SLAB ON GRADE	0.71	(14)	Natural Gas		Natural Gas	
				Façade S 638.6		Façade S 0	24	WALL	0.48	(15)	Individual Air conditioning system SEER 1.8		30%	
				Façade W 638.6		Façade W 0	24	WINDOW	3.37	(12)	Electricity		---	

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.

Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea

Fuentes

- EN UNE 15780/2012 method B
- Adaptive Comfort Models Applied to Existing Dwellings in Mediterranean Climate Considering Global Warming, Daniel Sánchez-García, Carlos Rubio-Bellido, Jesús A. Pulido-Arcas, Fco. Javier Guevara-García and Jacinto Canivell
- IEE Project TABULA (2009 - 2012). "Typology Approach for Building Stock Energy Assessment". Tobias Loga, Nikolaus Diefenbach, Britta Stein, Elena Dascalaki, Constantinos A. Balaras, Marjana Šijanec Zavrl, Andraž Rakušček, Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, Stefano Corgnati, Hubert Despretz, Michael Hanratty, Charles Roarty, Marlies van Holm, Nele Renders, Malgorzata Popiołek, Maria Amtmann, Zdravko Georgiev, Karin Spets, Tomáš Vimmr, Kim B. Wittchen, Jesper Kragh, Leticia Ortega, Begoña Serrano Lanzarote, Milica Jovanovic Popovic, Dusan Ignjatovic
- Use of cadastral data to assess urban scale building energy loss. Application to a deprived quarter in Madrid. Fernando Martín-Consuegra, Fernando de Frutos, Ignacio Oteiza, Hernández Aja Agustín
- Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Consejería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio. Generalitat Valenciana. <http://www.five.es/publicaciones/CataTipoEdifResi/arc/assets/basic-html/index.html#1>
- Escala de calificación energética para edificios existentes. Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE). Ministerio de Industria, Turismo y Comercio, Gobierno de España. Servando Álvarez (Grupo de Termotecnia de AICIA) y José Antonio Tenorio (Unidad de calidad en la Construcción del IETcc) José Manuel Salmerón, Adoración Cerezuela, Rafael Salmerón. http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdifExistentes_2011_accessible_c762988d.pdf (accessed 26/09/2018)
- Adaptive Comfort Models Applied to Existing Dwellings in Mediterranean Climate Considering Global Warming. Daniel Sánchez-García, Carlos Rubio-Bellido, Jesús A. Pulido-Arcas, Fco. Javier Guevara-García and Jacinto Canivell
- Use of Building Typologies for Energy Performance Assessment of National Building Stock. Valencia Institute of Building. http://episcopes.eu/fileadmin/tabula/public/docs/scientific/ES_TABULA_Report_IVE.pdf (accessed 08/10/2018)



NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(1)		Ceramic tile, Ceramic board, wooden frame, gypsum plaster, ventilated.
(2)		Tile of terrazzo, Grip mortar, Forged unidirectional of HA of 200mm of edge
(3)		Cavity wall, brick, air cavity
(4)		Metallic carpentry without break of thermal bridge, Folding, Bad adjustment, Without blind
(5)		Ceramic tile, Grout mortar, Waterproofing, Concrete for slopes, Unidirectional forged from HA, Gypsum plaster
(6)		Terrazzo tile, grout mortar, unidirectional forged of HA, gypsum plaster
(7)		1,17 (W/m2K) Cement Plastering, 115mm Hollow Brick, 30mm Chamber, 40mm Hollow Brick, Gypsum Plaster
(8)		Metallic carpentry without break of thermal bridge, Folding, Bad adjustment, Without shade
(9)		Flat roof: unidirectional framework with prestressed joint
(10)		Ceramic tile, mortar, SL slab 150 mm edge
(11)		Cement plastering, Hollow brick of 115 mm, Thermal insulation e = 30 mm, Hollow brick of 40 mm, Gypsum plaster
(12)		Metallic carpentry with break of thermal bridge, good adjustment, without shade
(13)		Layer of sand and gravel, Thermal insulation e = 50 mm, Waterproofing, Concrete for slopes, Unidirectional forging of HA of 300mm edge, Gypsum plaster
(14)		Terrazzo tile, Grout mortar, Reinforced concrete, Mineral wool, Unidirectional forged of 250mm edge, Gypsum plaster
(15)		White perforated brick of 115mm, Plaster of mortar, Thermal insulation e = 50 mm, Hollow brick of 70mm, Gypsum plaster

8.2 Francia

FRANCE														
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)/floor	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF OUTDOOR WALLS (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)		DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50 ⁰)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings					ROOF	SLAB			WALL	WINDOW
<1980	SFH (1)	Pavillon	44	2	12	Façade N 60	Façade N 0	12,5	ROOF	1,35	(1)	Many leaks	oil heater effort coefficient : 1,81	Electrical water heater effort coefficient : 4,15
	60			Façade E 44		Façade E 0	0	SLAB	2,3	(2)				
				Façade S 60		Façade S 0	12,5	WALL	1,5 or 1,7	(3)				
	Façade W 44			Façade W 0		0	WINDOW	4,8	(4)	N/A SEER N/A ---	0%			
	MFH (2)	Multi Family House	198	10	174	Façade N 325	Façade N 0	31	ROOF	3,2	(5)	Bad air permeability	Gas boiler effort coefficient: 1,52	Gas water heater Effort coefficient :2,27
	40			Façade E 325		Façade E 0	31	SLAB	2,5	(6)				
				Façade S 325		Façade S 0	31	WALL	3	(7)	N/A SEER N/A ---		0%	
				Façade W 325		Façade W 0	31	WINDOW	2,6	(8)	Wood stove and electrical convectors Effort coefficient :1,92		Thermodynamical water heater Effort coefficient: 2,01	
1981-2000	SFH (3)	Pavillon	97	1	107	Façade N 44,24	Façade N 0	17	ROOF	0,23	(9)	Average air permeability	N/A SEER N/A ---	0%
	64			Façade E 22,12		Façade E 0	0	SLAB	0,42	(10)				
				Façade S 44,24		Façade S 0	17	WALL	0,36	(11)				
	Façade W 22,12			Façade W 0		0	WINDOW	2,6	(12)	Gas heater low temperatura Effort coefficient : 1,72	Instantaneous DHW by individual boiler Effort coefficient : 1,54			
	MFH (4)	Multi Family House	611	8	654	Façade N 1093	Façade N 0	33	ROOF	0,43	(13)	Good air permeability	N/A SEER N/A ---	0%
	36			Façade E 364		Façade E	0	SLAB	0,42	(14)				
				Façade S 1093		Façade S 0	33	WALL	0,36	(15)				
				Façade W 364		Façade W 0	0	WINDOW	3,3	(16)				
2000-Present	SFH (5)	Pavillon	47,5	2	57	Façade N 47	Façade N 0	9	ROOF	0,24	(17)	1,2 m ³ / (h.m ²)	Heat pump air/water Coefficient effort : 1,1	Heat pump and hot water tank Effort coefficient : 2,17
	63			Façade E 47		Façade E 0	9	SLAB	0,18	(18)				
				Façade S 47		Façade S 0	9	WALL	0,34	(19)	N/A SEER N/A ---		0%	
	Façade W 47			Façade W 0		9	WINDOW	1,6	(20)	Gas heater Coefficient effort : 1,55	Water heater and hot water tank Coefficient effort :2,64			
	MFH (6)	Multi Family House	777	6	1301	Façade N 434	Façade N 434	0	ROOF	0,28	(21)	0,8 m ³ / (h.m ²)	N/A SEER N/A ---	0%
	37			Façade E 868		Façade E 0	46	SLAB	0,2	(22)				
				Façade S 434		Façade S 434	0	WALL	0,29	(23)				
				Façade W 868		Façade W 0	46	WINDOW	1,6	(24)				

Number	Picture	Description	Number	Picture	Description
(1)		Inclined roof, plaster, 2 cm mineral wool, 2 cm Wood and tiles	(7)		Concrete wall
(2)		Steel beams, brick slab	(8)		Wooden carpentry or PVC with double glazing
(3)		Stone and solid bricks	(9)		Wooden floor towards attic, mineral wool 14 cm
(4)		Wooden carpentry and single glazing	(10)		Concrete slab and 5 cm screed with 7cm of expanded polystyrene (EPS)
(5)		Roof terrace, concrete slab	(11)		Concrete with 8 cm of EPS or mineral wool and plaster
(6)		Concrete slab without insulation	(12)		Wooden carpentry or PVC with double glazing

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
 Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



Number	Picture	Description	Number	Picture	Description
(13)		20 cm concrete with 8 cm of EPS or 6 cm of PUR	(19)		Celular concrete 30 cm
(14)		20 cm concrete with 8cm of insulation (thermal conductivity of 0,035)	(20)		Carpentry with double glazing, reinforced thermal insulation
(15)		Concrete with 8 cm of EPS or mineral wool and plaster	(21)		20 cm concrete roof terrace with 8 cm of PUR
(16)		Metallic carpentry with double glazing	(22)		20 cm concrete slab with 16 cm of mineral wool
(17)		Mineral wool between wood joist 24 cm and plaster	(23)		18 cm concrete with PSE (12cm) or mineral wool (10cm)
(18)		Filler insulator and insulation under screed	(24)		Carpentry with double glazing, reinforced thermal insulation

Fuentes

Values of a building typology considered representative of the era (representing 9% of the building stock)

Values of a building typology considered representative of the era (representing 4,4% of the building stock)

Values of a building typology considered representative of the era (representing 7,5% of the building stock)

Values of a building typology considered representative of the era (representing 2,8% of the building stock)

Values of a building typology considered representative (representing 5,8% of the building stock)

Values of a building typology considered representative (representing 2,4% of the building stock)

Tabula et Episcopo, Bâtiments résidentiels Typologie du parc existant et solutions exemplaires pour la rénovation énergétique en France 2015

Programme d'action pour la qualité de la construction et de la transition énergétique, analyse détaillée du parc résidentiel existant, juillet

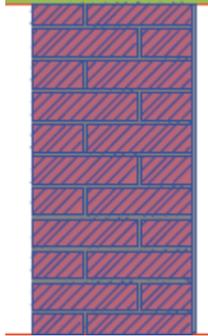
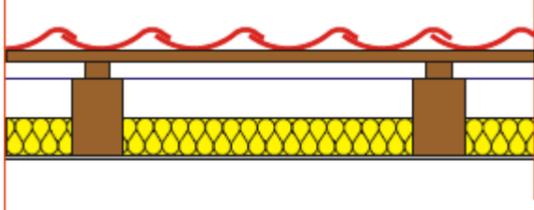
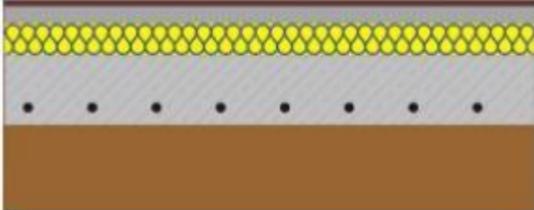
Cadre réglementaire de la RT 2005 (thermal regulation standard for buildings between 2005 and 2012).

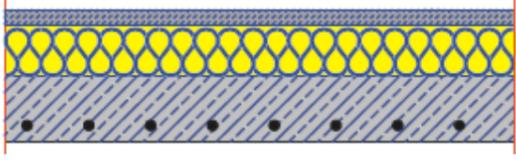
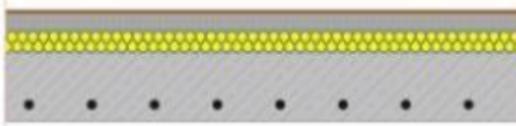
Notes: All the values are either from an example building or from statistics. The effort coefficient is the ratio between primary energy and the useful energy.

8.3 Eslovenia

SLOVENIA															
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF OUTDOOR WALLS (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)		DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50 ⁱⁱ)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.	
	% BUILT IN THE PERIOD ⁱⁱⁱ			No. Dwellings											
<1980	SFH	Terraced house	106	3	It is a gable roof 80	Façade N 51	0	50	ROOF	0,77	(1)	6	Old wood or coal boiler η=0.85 Wood/wooden biomass	Electric heater η=1 Electricity	
						Façade E 0	75	0	SLAB	1,17	(2)				
				1		Façade S 51	0	50	WALL	1,5	(3)				
				94%		Façade W 0	75	0	WINDOW	2,7	(4)				
	MFH	Multi Family House	290	4	303	Façade N 333,75	0	53	ROOF	0,77	(1)	6	Gas Boiler η=0.9 Gas	Gas Boiler η=0.9 Gas	
						Façade E 111,25	0	0	SLAB	1,46	(6)				
				7		Façade S 333,75	0	47	WALL	1,5	(5)				
						6%	Façade W 111,25	0	0	WINDOW	2,7				(4)
1981-2000	SFH	Single Unit House	91	2	It is a gable roof 91,7	Façade N 44,7	0	32	ROOF	0,3	(7)	3	Central Boiler η=0.95 fuel oil	Central Boiler η=0.95 fuel oil (in combination with heating system)	
						Façade E 29,8	0	14	SLAB	0,75	(8)				
				1		Façade S 44,7	0	39	WALL	0,7	(9)				
				98%		Façade W 29,8	0	15	WINDOW	2,7	(10)				
	MFH	Multi Family House	421	6	506,5	Façade N 186,45	0	5	ROOF	1,17	(11)	3	Central Boiler η=0.95 Gas oil	Electric heaters η=1 Electricity	
						Façade E 435	0	41	SLAB	0,75	(8)				
				40		Façade S 186,45	0	12	WALL	1,8	(12)				
						2%	Façade W 435	0	42	WINDOW	2,7				(10)
	2000-Present	SFH	Single Unit House	142	2	It is a gable roof 69,13	Façade N 53,08	0	20	ROOF	0,2	(13)	2	Air heat pump η=2.5 Electricity	Air heat pump η=2.5 Electricity
							Façade E 64,88	0	21	SLAB	0,3	(14)			
1					Façade S 53,08		0	29	WALL	0,38	(15)				
					94%		Façade W 64,88	0	30	WINDOW	1,4	(16)			
MFH		Multi Family House	2.249	7	3483	Façade N 1821,05	0	26	ROOF	0,2	(17)	2	District heating η=1.0	District heating η=1.0	
						Façade E 780,45	0	17	SLAB	0,24	(18)				
				160		Façade S 1821,05	0	30	WALL	0,3	(19)				
						6%	Façade W 780,45	0	27	WINDOW	1,4				(16)

NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION	NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(1)		Classic wooden roof without insulation	(7)		Wooden structure roof with the thermal insulation between load bearing elements
(2)		Concrete slab on grade with concrete screed, without insulation; wooden finish layer	(8)		Reinforce concrete slab with 3 cm of thermal insulation
(3)		Stone wall without insulation	(9)		Brick wall with 3 cm of thermal insulation
(4)		Wooden box window	(10)		Old wooden double glazing windows (air inside the gap)

(5)		Brick wall with plaster, without insulation	(11)		Concrete roof with concrete screed, without insulation
NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION	NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(13)		Wooden roof with 20 cm of thermal insulation between load bearing elements	(19)		Reinforced concrete wall with 12 cm thermal insulation
(14)		Brick wall with 8 cm of thermal insulation			
(15)		Reinforce concrete slab with 10 cm of thermal insulation			

(16)		PVC double glazing windows
(17)		Reinforced concrete with 20 cm thermal insulation
(18)		Reinforced concrete slab with 15 cm thermal insulation

**Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea**



Fuentes

IEE Project TABULA (2009 - 2012). "Typology Approach for Building Stock Energy Assessment". Tobias Loga, Nikolaus Diefenbach, Britta Stein, Elena Dascalaki, Constantinos A. Balaras, Marjana Šijanec Zavrl, Andraž Rakušček, Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, Stefano Corgnati, Hubert Despretz, Michael Hanratty, Charles Roarty, Marlies van Holm, Nele Renders, Malgorzata Popiołek, Maria Amtmann, Zdravko Georgiev, Karin Spets, Tomáš Vimmr, Kim B. Wittchen, Jesper Kragh, Leticia Ortega, Begoña Serrano Lanzarote, Milica Jovanovic Popovic, Dusan Ignjatovic

IEE Project Build Up skills Slovenia (2012). "Analysis of the national status quo". dr. Marjana Šijanec Zavrl, mag. et al.

8.4 Croacia

CROATIA																	
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m2)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m2)	AREA OF OUTDOOR WALLS (m2)	AREA OF PARTY- WALLS (m2)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m2 K)		DESCRI PTION	AIR TIGHT NESS (n50)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.			
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings					ROOF	SLAB			WALL	WINDOW	Cooling System. Seasonal Energy Efficiency Ratio. Energy Source	Solar contribution	
<1970	SFH*	Footprint I	72,19	1	72,19	Façade N 24	Façade N	8	ROOF	1,12 0,29	1	9,66	Electric heaters (3.5 kW) - thermostat control over the reference room	Electric boilers DHW without circulating loop			
	50					Façade E 23,98	Façade E	12	SLAB	1,24					2		
				50		Façade S 24,88	Façade S	6	WALL	1,96 0,45	3		NA	0%			
	Façade W 24,52					Façade W	7	WINDOW	4,65 2,38	4							
	MFH**	Terraced house	1082,20	-		3	Façade N 498,96	Façade N	23	ROOF	1,01		5	No central heating and cooling system	Electric boilers		
							Façade E 132,84	Façade E	0	SLAB	2,12					6	
						50	Façade S 498,96	Façade S	31	WALL	2,12		7			inverter split systems (COP 3.27- 3.72) Electricity	0%
							Façade W 132,84	Façade W	0	WINDOW	5,20		8				
*1971-1987 / **1971-2005	SFH*	Footprint I	95,39	1	95,39	Façade N 26,56	Façade N	9	ROOF	1,14 0,36	9	3,53	Electric heaters (3.5 kW) - thermostat control over the reference room	Electric boilers DHW without circulating loop			
	*46 **48					Façade E 25,20	Façade E	23	SLAB	1,24					10		
				*54 **52		Façade S 26,04	Façade S	8	WALL	2 0,45	11		NA	0%			
	Façade W 25,67					Façade W	9	WINDOW	2,70 2,38	12							
	MFH**	Terraced house	936,00	-		5	Façade N 296,8	Façade N	45	ROOF	0,68	13	No central heating and cooling system	Electric boilers			
							Façade E 156,80	Façade E	0	SLAB	1,67				14		
						*54 **52	Façade S 296,80	Façade S	35	WALL	1,67	15			inverter split systems (COP 3.27- 3.72) Electricity	0%	
							Façade W	Façade W	0	WINDOW	4,28	16					

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



						156,80									
*1988-Present/ **2005- Present	SFH*	-	95,39	1	95,39	Façade N 26,56	Façade N	9	ROOF	0,88 0,33	17	2,99	Electric heaters (3kW) - thermostat control over the reference room	Electric boilers DHW without circulating loop	
	Façade E 25,20					Façade E	23	SLAB	1,24	18					
	Façade S 26,04					Façade S	8	WALL	1,29 0,40	19	NA		0%		
	Façade W 25,67					Façade W	9	WINDOW	2,90 2,38	20					
	MFH**	Terraced house	554,04	5	554,04	Façade N 174,6	Façade N	28	ROOF	0,39	21	2,99	Electric heating and cooling, LPG use, low radiant heating systems (floor, wall, ceiling), fan coils, radiators	Electric boilers	
	Façade E					Façade E	0	SLAB	0,67	22					
	Façade S 174,6					Façade S	29	WALL	0,67	23	inverter split systems Electricity		0%		
	Façade W					Façade W	0	WINDOW	1,50	24					
	*49 **36			1											
	*51 **64			-											

NUMBER	DESCRIPTION	NUMBER	DESCRIPTION
(1)	Ceilings bordering unheated attic are usually made of wood Underneath the attic is a lacquered plank. Beams are coated with plating, plaster At 24,77% the house ceiling construction was subsequently improved with 10cm of mineral wool Roof is wooden; unheated attic is not ventilated	(13)	1971-1980 Inclined roof with residential space underneath - Timber joists with 5 cm thermal insulation infill. Flat roof (residential space underneath)- 16 cm concrete slab, 3 cm thermal insulation, cement screed and hydro-insulation 1980-2000 Flat roof, waterproofing bitumen tape, concrete slab, gravel
(2)	Concrete base on 2cm expanded polystyrene (EPS) on waterproofing and concrete substrate	(14)	Reinforced concrete Hydro-insulation on the ground floor - bitumen tape Thermal insulation-glass wool, XPS concrete with fibre without reinforcement tiles, parquet
(3)	Stone in an extension mortar, 45 cm external walls, without isolation. At 19,3% of SFH wall was subsequently isolated by 6cm of expanded polystyrene - EPS with thin layer plaster (ETICS facade system)	(15)	1971-1980 External wall bordering outer space- 25 cm reinforced concrete All commercially available materials were used for construction, 25 cm reinforced concrete and full brick dominating, no thermal protection applied
(4)	The original windows of the building period are wooden doors and single glazed windows d = 4 mm in a 6 cm thick wooden coniferous frame. Shutters or roller shades are used for sun protection At 58,61% of the houses wooden windows were replaced with PVC, glazing IZO glass 4+16+4mm in tri chamber window	(16)	1971-1980 Metal frame with no thermal bridge interruption, double (4/6-8/4) simple glazing, no seal Wood, roller shutters DOOR - mostly wooden
(5)	PRIOR TO 1940 Ceilings are mostly wooden or solid, made of brick, stone or concrete elements (ribbed concrete ceiling). ceilings bordering unheated attic are usually made of wood with (plastered board) underside, a layer of rubble and an upper board decking as the attic floor 1941-1970 For flat roofs: 16 cm concrete slab, 3 cm thermal insulation, cement screed and hydro-insulation	(17)	Ceiling structure to unheated attic was made as a FERT ceiling (4 x 16 cm). On the underside it is plastered, with the upper part of the plates expanded polystyrene (EPS) 2 cm. At 40.41%, the house ceiling structure was improved by laying mineral wool (MW) plated with 10 cm thick ceiling glass from the ceiling side of the construction instead of EPS Wooden roof, tile
(6)	Reinforced concrete Bitumen tape Concrete as base Wood, parquet, tiles	(18)	2 cm thick polystyrene (EPS) on concrete substrates, waterproofing
(7)	PRIOR TO 1940	(19)	Hollow block of brick in the extension mortar

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.

Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



	30 - 60 cm full brick or stone (plastered on both sides) 1941-1970 20 cm reinforced concrete (1.5 cm plaster layer on the inside) or 25 cm reinforced concrete		External load-bearing walls are 25 thick cm, without insulation, both plastered Inner support walls are also 25 cm, surface processing is a two-sided plaster At 36.30% the houses the walls are later enhanced by thermal insulation (expanded polystyrene - EPS) in thickness of 6 cm thin layer plaster (ETICS façade system).
(8)	PRIOR TO 1940 Wooden frame, double single-glazed (4 mm) window, two window jambs at a distance of d=30cm, no seal 1941-1970 Wooden frame, single-glazed (4 mm) window, no seals DOOR - mostly wooden	(20)	wooden joinery glazed with double IZO glass 4 + 16 + 4 mm in a wooden frame of ivory 7 cm thick Sun protection is foreseen with grille or roller shutter. At 82,19% houses the windows were replaced by PVC joinery, glazing IZO glass 4 + 16 + 4 mm in tripartite frames
(9)	Ceilings bordering unheated attic - reinforced concrete thickness 12cm on the upper side 2cm EPS At 27,71% of the house ceiling construction was improved by insulation of 10cm mineral wool Wooden roof, unheated ceiling space	(21)	flat roof, insulation: wooden fibres, EPS, XPS
(10)	Concrete base on 2cm thick polystyrene on waterproofing and concrete substrate	(22)	Reinforced concrete Hydro-insulation on the ground floor - bitumen tape Thermal insulation-stone wool, XPS concrete with fibre without reinforcement tiles, parquet
(11)	Concrete blocks in the extended mortar 25 cm external walls without insulation, two-sided plaster 25cm internal portable walls, two-sided plaster On 30,42% of houses walls and roofs were subsequently improved by 6cm of thermal insulation (expanded polystyrene -EPS) with layer plaster (ETICS facade systems)	(23)	All commercially available materials were used for construction, 25 cm reinforced concrete and full brick dominating 2000-2004 no thermal protection applied 2005-2010 thermal protection of buildings (Technical regulation on thermal energy savings and thermal protection in buildings was adopted in 2005. It applies to both new-builds and the reconstruction of existing buildings)
(12)	Wooden joinery glazed with double IZO glass 4+6+14mm in a 8cm thick wooden frame Shutters or roller shades are used for sun protection At 62,53% of the houses wooden windows were replaced with PVC, glazing IZO glass 4+16+4mm in tri chamber window	(24)	Aluminium, PVC, roller shutters, double glazed frame DOOR - MDF

Fuentes

Croatia is divided on two climatic zones: continental and coastal. For the purpose of HAPPEN project data concerning reference buildings in coastal Croatia are taken into consideration.

Construction periods have been set according to specific time periods in which the buildings have significantly different properties due to building regulations that were into force at that time. Source: (*)Report according Act 5(2) Directive 2010/31/EU and Act 6 Ordinance (EU) 244/2012 from 16.01.2012.: Minimum Energy Requirements of single family house building for continental and coastal Croatia, for the period up to 1970, 1970 - 1987, after 1987, and almost zero energy buildings and (**)Report according Act 5(2) Directive 2010/31/EU and Act 6 Ordinance (EU) 244/2012 from 16.01.2012.: Minimum Energy Requirements of multifamily house building for continental and coastal Croatia, for the period up to 1970, 1970 - 2005, after 2005, and almost zero energy buildings.

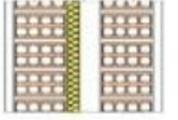
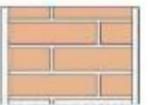
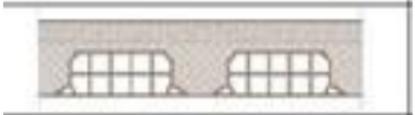
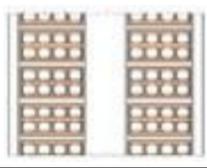
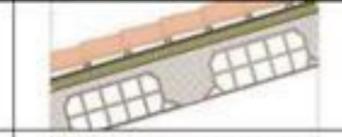
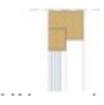
In case of SFH significant number of representative buildings in presented period was renovated, for that reason in column No8 two u- values are indicated: first one represents construction part without insulation, while second value represents construction part with insulation.

Hrvoje Krstić, Željko Koški, Irena Ištoka Otković, Martina Španić: Application of neural networks in predicting airtightness of residential units

National Statistical Report: Census of Population, Households and Dwellings 2011, <https://www.dzs.hr/hrv/censuses/census2011/results/censustabsxls.htm> . Data calculated according "Nastanjeni stanovi prema godini gradnje, vrsti zgrade i broju kućanstava u stanu, popis 2011."

8.5 Italia

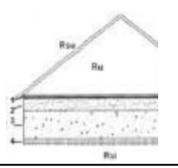
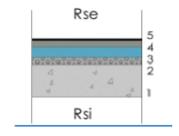
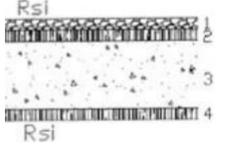
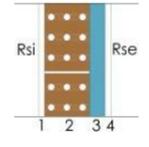
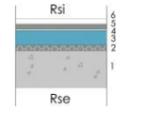
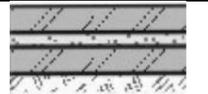
ITALY															
PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF OUTDOOR WALLS (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)		DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.	
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings					ROOF	SLAB			WALL	WINDOW	Seasonal Energy Efficiency Ratio. Energy Source
<1980	SFH	Detached House	81 (80,9)	2	81	Façade N 66.8	Façade N 0	0	ROOF	2.20	(1)	10	Boiler η=0.82 fuel gas	Boiler η=0.80 fuel gas	
						Façade E 66.8	Façade E 0	8	SLAB	2	(2)				
				34		1	Façade S 66.8	Façade S 0	10	WALL	1.46				(3)
						Façade W 66.8	Façade W 0	8	WINDOW	4.9	(4)				
	MFH	Multi Family House Tower (I) shaped	540	5	540	Façade N 951.3	Façade N 0	0	ROOF	1.9 ⁹	(1a or 1)	8	Central Boiler η=0.71 fuel gas	Boiler η=0.73 fuel gas	
						Façade E 198.4	Façade E 0	40	SLAB	1.56	(5)				
				66		40	Façade S 951.3	Façade S 0	15	WALL	1.10				(6)
						Façade W 198.4	Façade W 0	40	WINDOW	4.9	(4)				
1981-2000	SFH	Detached House	106	2	106	Façade N 64.8	Façade N 0	0	ROOF	0.94	(7)	7	Central Boiler η=0.89 fuel gas	Boiler η=0.80 Fuel gas	
						Façade E 64.8	Façade E 0	11	SLAB	0.88	(8)				
				23		1	Façade S 64.8	Façade S 0	14	WALL	0.68				(9)
						Façade W 64.8	Façade W 0	11	WINDOW	2.80	(10)				
	MFH	Multi Family House Footprint I-shaped	716	6	716	Façade N 1067.3	Façade N 0	0	ROOF	1.28	(11)	5	Central Boiler till 1991 and boiler till 2000 η=0.88 fuel gas	Boiler η=0.84 fuel gas	
						Façade E 246.6	Façade E 0	40	SLAB	0.88	(8)				
				77		42	Façade S 1067.3	Façade S 0	16	WALL	0.68				(9)
						Façade W 246.6	Façade W 0	40	WINDOW	3.6	(12)				
2000-Present	SFH	Detached House	96	2	96	Façade N 61.7	Façade N 0	0	ROOF	0.74	(13)	2	Low temperature Boiler η=0.92 Fuel gas	Low- temperature Boiler η=0.91 Fuel gas	
						Façade E 61.7	Façade E 0	11	SLAB	0.33	(14)				
				52		1	Façade S 61.7	Façade S 0	14	WALL	0.34				(15)
						Façade W 61.7	Façade W 0	11	WINDOW	2.20	(16)				
	MFH	Multi Family House Footprint I-shaped	410	2	410	Façade N 482.9	Façade N 0	0	ROOF	0.74	(13)	2	Low Temperature Central Boiler η=0.94 Fuel gas	Condensing Boiler η=0.90 Fuel gas	
						Façade E 33.7	Façade E 0	10	SLAB	0.33	(14)				
				48		4	Façade S 482.9	Façade S 0	10	WALL	0.34				(15)
						Façade W 33.7	Façade W 0	10	WINDOW	2.20	(16)				

NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION	NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(1)		Pitched roof with brick - concrete slab	(9)		hollow brick masonry with low-mid insulation
(1a)		Pitched roof with wood structure and planking	(10)		Double glass, air filled wood frame
(2)		concrete floor on soil	(11)		Flat roof with reinforced brick - concrete slab with low - mid insulation
(3)		Solid Brick Masonry	(12)		Double Glass, air filled, metal frame with or without thermal break
(4)		single glass, wood frame	(13)		Pitched roof (roof brick flaps) with concrete slab -mid insulation level
(5)		Floor with reinforced brick- Concrete slab	(14)		Concrete floor on soil, with high insulation
(6)		Hollow wall brick masonry	(15)		Honeycomb brick masonry (High thermal resistance - High Insulation level)
(7)		Pitched roof with brick- concrete slab low -mid insulation	(16)		Low e -double glass, air gap or other gases filled, wood frame
(8)		Floor with reinforced brick- Concrete slab with low- mid insulation			

8.6 Chipre

CYPRUS

PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS	FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF EXTERNAL WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS PER ORIENTATION (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)		DESCRIPTION	AIR TIGHTNESS (n50)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source	DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.	
	% BUILT IN THE PERIOD			No. Dwellings					ROOF	SLAB ON GRADE			WALL	WINDOW	Cooling System. Seasonal Energy Efficiency Ratio. Energy Source
<1980	SFH	Single Semi-detached House	56	2	52	Façade N 51	Façade N 0	17.6	ROOF	3.42	(1)	12	Boiler η=0.8 fuel oil	Immersion Heater n=0.85 Electricity ^{3,6}	
				1		Façade E 44	Façade E 0	9.7	SLAB ON GRADE	1.97	(2)				
	73			Façade S 51		Façade S 0	26.5	WALL	1.39	(3)	N/A SEER N/A ---		50%		
				Façade W 0		Façade W 44	0	WINDOW	6.1	(4)					
	MFH	Multi Family House	Footprint U-Shaped ⁵	370	3	370	Façade N 365	Façade N 0	16	ROOF	3.42	(2)	12	Boiler n=0.9 fuel oil	Immersion Heater n=0.85 Grid Electricity
					4		Façade E 275	Façade E 0	24	SLAB ON GRADE	1.56	(5)			
		27			Façade S 365		Façade S 0	39	WALL	1.39	(3)	N/A SEER N/A ---		50%	
					Façade W 275		Façade W 0	26	WINDOW	6.1	(4)				
1981-2000	SFH	Single Detached House	172	2	160	Façade N 83	Façade N 0	32	ROOF	3.42	(1)	8	Boiler n=0.8 fuel oil	Boiler n=0.8 fuel oil	
				1		Façade E 89	Façade E 0	15	SLAB ON GRADE	1.97	(2)				
	67			Façade S 83		Façade S 0	17	WALL	1.39	(3)	Reverse Heat Pump SEER 2.6 Grid Electricity		65%		
				Façade W 89		Façade W 0	22	WINDOW	6.1	(4)					
	MFH	Multi Family House	Footprint U-Shaped	580	4	490	Façade N 350	Façade N 0	16	ROOF	3.42	(2)	8	Heat Pump 1.9 Grid Electricity & Boiler n=0.9 fuel oil	Immersion Heater n=0.9 Grid Electricity
					4		Façade E 580	Façade E 0	24	SLAB	1.56	(5)			
		33			Façade S 350		Façade S 0	13	WALL	1.39	(3)	Reverse Heat Pump SEER 3.2 Grid Electricity		80%	
					Façade W 580		Façade W 0	23	WINDOW	6.1	(4)				
2001-2010	SFH	Single Detached House	192	3	136	Façade N 75	Façade N 0	35	ROOF	0.6	(6)	6	Boiler n=0.9 fuel oil	Immersion Heater/ Tankless Heaters n=0.9 Grid Electricity	
				1		Façade E 97	Façade E 0	18	SLAB ON GRADE	0.91	(5)				
	51			Façade S 70		Façade S 0	12	WALL	0.65	(7)	Split Unit SEER 3 Electricity		90%		
				Façade W 95		Façade W 0	13	WINDOW	3.2	(8)					
	MFH	Multi Family House	Footprint □-Shaped	740	3	740	Façade N 230	Façade N 0	16	ROOF	0.6	(6)	6	Central Boiler η=0.9 Fuel oil	Central Boiler η=0.9 Fuel oil
					9		Façade E 315	Façade E 0	20	SLAB ON GRADE	0.65	(9)			
		49			Façade S 230		Façade S 0	26	WALL	0.65	(7)	Split Units SEER 3.2 Grid Electricity		90%	
					Façade W 315		Façade W 0	17	WINDOW	3.2	(8)				

NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION	NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(1)		Flat roof under non insulated inclined roof	(6)		Flat insulated roof
(2)		Floor of reinforced concrete supernatant closed non-heated basement or semi-basement space	(7)		Insulated brick wall
(3)		External brick wall without insulation	(8)		Double glazed (4mm), air gap (12mm), metal frame
(4)		Metal door, partially glazed with single pane	(9)		Thermally insulated Exposed Floor slab
(5)		Floor over unheated space			

Fuentes

[Cyprus Statistical Service, Census 2011](#)

[Cyprus Land Development Corporation, Statistical data](#)

<http://webtool.building-typology.eu/#bm>

Feasibility of NZEB implementation in schools – Split, Croatia

Frederick University, Υπολογισμός των βέλτιστων από πλευρά κόστους επιπέδων των ελάχιστων απαιτήσεων ενεργειακής απόδοσης κτιρίων σύμφωνα με το άρθρο 5 της Οδηγία 2010/31/ΕΕ για την ενεργειακή απόδοση των κτιρίων

<http://episcopo.eu/building-typology/country/cy/>

8.7 Grecia

GREECE

PERIOD	TYPE	FOOTPRINT TYPE (O, C, L...)	FOOTPRINT AREA (m ²)	No. FLOORS		FLAT ROOF AREA (m ²)	AREA OF OUTDOOR WALLS (m ²)	AREA OF PARTY-WALLS (m ²)	AREA OF WINDOWS PER WALL AREA (%)	U-VALUES (W/m ² K)			DESCRPTION	AIR TIGHTNESS (n50 ¹)	Heating System. Coefficient of Performance Energy Source		DHW System Coefficient of Performance. Energy Source.	
				No. Dwellings														Cooling System. Seasonal Energy Efficiency Ratio. Energy Source
<1980	SFH	Single Family House	130	1	130	Façade N 27	Façade N 0	5	ROOF	3.05	(1)	12	Boiler η=0.85 fuel oil	Boiler η=0.85 fuel oil				
						Façade E 43.2	Façade E 0	27	SLAB	3.1	(2)							
				Façade S 27		Façade S 0	10	WALL	3.05	(3)	N/A SEER N/A ---				0%			
				Façade W 43.2		Façade W 0	16	WINDOW	4.7	(5)								
	MFH	Multi Family House Footprint I-shaped	322	4	322	Façade N 204	Façade N 204	0	ROOF	3.05	(1)	12	Central Boiler η=0.85 fuel oil	Boiler η=0.85 fuel oil				
						Façade E 228	Façade E 0	43	SLAB	3.1	(2)							
				Façade S 204		Façade S 0	27	WALL	3.4	(4)	N/A SEER N/A ---				0%			
				Façade W 228		Façade W 228	0	WINDOW	4.7	(5)								
1981-2000	SFH	Single Family House	107.2	1	107.2	Façade N 24	Façade N 0	0	ROOF	3.05	(1)	6	Boiler η=0.85 fuel oil	Electric heaters η=1 Electricity				
						Façade E 40.2	Façade E 0	16	SLAB	3.1	(2)							
				Façade S 24		Façade S 0	14	WALL	0.95	(7)	Air conditioning system EER 3 Electricity				30%			
				Façade W 40.2		Façade W 0	12	WINDOW	4.1	(9)								
	MFH	Multi Family House Footprint I-shaped	360	5	360	Façade N 240	Façade N 0	8	ROOF	3.05	(1)	6	Central Boiler η=0.85 fuel oil	Electric heaters η=1 Electricity				
						Façade E 337.5	Façade E 337.5	0	SLAB	2.75	(6)							
				Façade S 240		Façade S 0	26	WALL	1	(8)	Individual Air conditioning system EER 3 Electricity				30%			
				Façade W 337.5		Façade W 0	35	WINDOW	4.1	(9)								
2000- Present	SFH	Single Family House	80	2	80	Façade N 36	Façade N 0	0	ROOF	1.05	(10)	5	Boiler η=0.85 Fuel oil	Boiler η=0.85 Fuel oil				
						Façade E 79.8	Façade E 0	28	SLAB	0.95	(12)							
				Façade S 36		Façade S 0	11	WALL	0.7	(13)	Air conditioning system EER 3 Electricity				60%			
				Façade W 79.8		Façade W 0	19	WINDOW	2.7	(14)								
	MFH	Multi Family House Footprint I-shaped	150	4	150	Façade N 108	Façade N 0	4	ROOF	0.95	(11)	5	Central Boiler η=0.85 Fuel oil	Boiler η=0.85 Fuel oil				
						Façade E 200	Façade E 0	27	SLAB	0.8	(15)							
				Façade S 108		Façade S 0	12	WALL	0.7	(13)	Individual Air conditioning system EER 3 Electricity				60%			
				Façade W 200		Façade W 0	23	WINDOW	2.7	(14)								

Caracterización del parque edificatorio residencial en España.
 Aplicación a la definición de edificios de referencia en el área mediterránea



NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION	NUMBER	PICTURE	DESCRIPTION
(1)		conventional flat roof no insulated	(9)		double glazed (6mm), metal frame
(2)		Slab on grade	(10)		tilted reinforced concrete slab with ceramic tiles, 6cm insulation
(3)		brickwork 10cm, plastered on both sides	(11)		conventional flat roof with 6cm insulated
(4)		load bearing structure, reinforced concrete (thickness<80cm)plastered on both sides	(12)		slab on grade, 5cm insulation
(5)		single glazed, wooden frame	(13)		double brickwork 10cm plastered on both sides ,load bearing structure, reinforced concrete (thickness<80cm)plastered on both sides, insulation 5cm or 6cm
(6)		slab over unheated space (pilotis)	(14)		double glazed (12mm), synthetic frame
(7)		double brickwork 10cm with slightly ventilated air layer, unplastered on one side, insulation 5 cm	(15)		slab over unheated space with 5cm insulation
(8)		load bearing structure, reinforced concrete (thickness<80cm)plastered on both sides, 5cm insulation			

Fuentes

NHSS. Results from the census of constructions—buildings of the December 1, 1990. Athens: National Hellenic Statistical Service; 2000 [in Hellenic].

NHSS. Results from the census of constructions—buildings of the December 1, 2001. Athens: National Hellenic Statistical Service; 2010 [in Hellenic].

NHSS. Results from the census of constructions—buildings of the December 1, 2011. Athens: National Hellenic Statistical Service; 2015 [in Hellenic].

KENAK - Greek Regulation for the Energy Efficiency of Buildings, 2010 [in Hellenic].

Technical guideline TOTEE 20701-1/2010 [in Hellenic].

IEE Project TABULA (2009 - 2012). "Typology Approach for Building Stock Energy Assessment". Tobias Loga, Nikolaus Diefenbach, Britta Stein, Elena Dascalaki, Constantinos A. Balaras, Marjana Šijanec Zavrl, Andraž Rakušček, Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, Stefano Corgnati, Hubert Despretz, Michael Hanratty, Charles Roarty, Marlies van Holm, Nele Renders, Malgorzata Popiołek, Maria Amtmann, Zdravko Georgiev, Karin Spets, Tomáš Vimmr, Kim B. Wittchen, Jesper Kragh, Leticia Ortega, Begoña Serrano Lanzarote, Milica Jovanovic Popovic, Dusan Ignjatovic

Balaras, C., Gaglia, A., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., 2007: European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. Building and Environment

Petroliagki, M., 2018: Energy consumption profile of the existing building stock in Greece [presentation in Hellenic].

9 ANNEX C

Thermal Clusters				
	ROOFS	SLABS ON GRADE	WALLS	GLAZINGS
T1	F	C	C	J
T2	B	B	B	E
T3	C	E	D	H
T4	A	A	A	D
T5	A	A	A	B
T6	B	C	C	D
T7	A	C	A	C
T8	E	E	C	I
T9	G	D	C	K
T10	G	G	G	H
T11	G	G	B	G
T12	C	B	B	E
T13	C	B	D	D
T14	B	D	D	G

Donde las letras indican la calidad de las propiedades térmicas de los diferentes elementos de la envolvente del edificio. Se han utilizado los siguientes rangos para definir estas letras a partir de los valores de U que se proporcionan en las tablas del Anexo B.)

Scale Based on U-values (W/m ² K)			
ROOFS, SLABS ON GRADE, WALLS		GLAZINGS	
A	0,01 - 0,49	A	0,90 - 1,39
B	0,50 - 0,99	B	1,40 - 1,89
C	1,00 - 1,49	C	1,90 - 2,39
D	1,50 - 1,99	D	2,40 - 2,89
E	2,00 - 2,49	E	2,90 - 3,39
F	2,50 - 2,99	F	3,40 - 3,89
G	3,00 - 3,49	G	3,90 - 4,39
H	3,50 - 3,99	H	4,40 - 4,89
I	4,00 - 4,49	I	4,90 - 5,39
J	4,50 - 4,99	J	5,40 - 5,89
K	5,00 - 5,49	K	5,90 - 6,39

Construction Clusters	
SINGLE FAMILY HOUSES (SFH)	
C1	≤150 m ² ; ≤2 storey; DETACHED
C2	≤150 m ² ; ≤2 storey; SEMIDETACHED
C3	≤150 m ² ; 3 TO 6 storey; DETACHED
C4	≤150 m ² ; 3 TO 6 storey; SEMIDETACHED
C5	150-600 ; ≤2 storey; DETACHED
MULTI-FAMILY HOUSES (MFH)	
C6	150-600 m ² ; C-shaped ; 3 TO 6 storey
C7	150-600 m ² ; I-shaped ; 3 TO 6 storey
C8	>1000 m ² ; I-shaped ; >6 storey
C9	>1000 m ² ; I-shaped ; 3 TO 6 storey
C10	>1000 m ² ; L-shaped ; >6 storey
C11	600-1000 m ² ; I-shaped ; 3 TO 6 storey
C12	150-600 m ² ; I-shaped ; ≤2 storey
C13	≤150 m ² ; I-shaped ; 3 TO 6 storey
C14	150-600 m ² ; U-shaped ; 3 TO 6 storey
C15	600-1000 m ² ; I-shaped ; 3 TO 6 storey

REFERENCIAS

- [1] Ballarini, I., Corgnati, S. P., & Corrado, V. (2014). Use of reference buildings to assess the energy saving potentials of the residential building stock: The experience of TABULA project. *Energy policy*, 68, 273-284.
- [2] Tobias Loga, Nikolaus Diefenbach, Britta Stein, Elena Dascalaki, Constantinos A. Balaras, Marjana Šijanec Zavrl, Andraž Rakušček, Vincenzo Corrado, Ilaria Ballarini, Stefano Corgnati, Hubert Despretz, Michael Hanratty, Charles Roarty, Marlies van Holm, Nele Renders, Malgorzata Popiołek, Maria Amtmann, Zdravko Georgiev, Karin Spets, Tomáš Vimmr, Kim B. Wittchen, Jesper Kragh, Leticia Ortega, Begoña Serrano Lanzarote, Milica Jovanovic Popovic, Dusan Ignjatovic (2009 - 2012). IEE Project TABULA "Typology Approach for Building Stock Energy Assessment". <http://webtool.building-typology.eu/#bm>
- [3] Tilmans, A., & Van Orshoven, D. (2010). Belgian Building Research Institute (BBRI), Belgium.
- [4] Economidou, M., Atanasiu, B., Despret, C., Maio, J., Nolte, I., & Rapf, O. (2011). Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings. *Buildings Performance Institute Europe (BPIE)*, 35-36.
- [5] Nemry, F., Uihlein, A., Colodel, C. M., Wittstock, B., Braune, A., Wetzel, C., ... & Gallon, N. (2008). Environmental improvement potentials of residential buildings (IMPRO-building). JRC report <ftp.jrc.es/EURdoc/JRC46667.pdf>.
- [6] Verhoef, Leo, Sámsondi Kiss, György, di Glulio, Roberto, Melgaard, Ebbe, Bragança, Luís. • COST Action C16 - Improving the quality of existing urban building envelopes <https://www.cost.eu/actions/C16/>
- [7] E-Retrofit-Kit. Tool-Kit for "PassiveHouse Retrofit". Partners: The social housing company FaellesBo, Denmark (Coordinator); Energieinstitut Vorarlberg, Austria; Energy Research Centre of the Netherlands; Asociación de Investigación Industrial de Andalucía, Spain; COWI A/S Denmark; Housing Agency BKA, Lithuania. <http://retrofit.energieinstitut.at/>

- [8] The ENTRANZE Project. <http://www.entranze-scenario.enerdata.eu/site/>
<https://www.entranze.eu/>
- [9] Project FP7-NMP. GE2O “Geo-clustering to deploy the potential of Energy Efficient Buildings across EU”
Coordinado por: Dr. Dominique Caccavelli. <http://www.geocluster.eu>
- [10] Deru, M., Field, K., Studer, D., Benne, K., Griffith, B., Torcellini, P., Liu, B., Halverson, M. Winiarski, D., Rosenberg, M., Yazdani, M. (2011). US Department of Energy commercial reference building models of the national building stock.
- [11] Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., & Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and environment*, 42(3), 1298-1314.
- [12] Dascalaki, E. G., Droutsas, K., Gaglia, A. G., Kontoyiannidis, S., & Balaras, C. A. (2010). Data collection and analysis of the building stock and its energy performance—An example for Hellenic buildings. *Energy and Buildings*, 42(8), 1231-1237.
- [13] Theodoridou, I., Papadopoulos, A. M., & Hegger, M. (2011). A typological classification of the Greek residential building stock. *Energy and Buildings*, 43(10), 2779-2787.
- [14] Hassler, U. (2009). Long-term building stock survival and intergenerational management: the role of institutional regimes. *Building Research & Information*, 37(5-6), 552-568.
- [15] Balaras CA, Droutsas K, Dascalaki E, Kontoyiannidis S. Heating energy consumption and resulting environmental impact of European apartment buildings. *Energy and Buildings* 2005;37(5): 429–42.
- [16] Tommerup, H., & Svendsen, S. (2006). Energy savings in Danish residential building stock. *Energy and buildings*, 38(6), 618-626.
- [17] Uihlein, A., & Eder, P. (2010). Policy options towards an energy efficient residential building stock in the EU-27. *Energy and Buildings*, 42(6), 791-798.
- [18] Fracastoro, G. V., & Serraino, M. (2011). A methodology for assessing the energy performance of large scale building stocks and possible applications. *Energy and Buildings*, 43(4), 844-852.
- [19] de Vasconcelos, A. B., Pinheiro, M. D., Manso, A., & Cabaço, A. (2015). A Portuguese approach to define reference buildings for cost-optimal methodologies. *Applied Energy*, 140, 316-328.
- [20] Schaefer, A., & Ghisi, E. (2016). Method for obtaining reference buildings. *Energy and Buildings*, 128, 660-672.
- [21] Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., & Monetti, V. (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. *Applied energy*, 102, 983-993.
- [22] Salmerón, J. M., Cerezuela, A., Salmerón, R., Álvarez, S., & Tenorio, J. A. (2011). Escala de calificación energética para edificios existentes. Cuadernos de Eficiencia Energética: Publicaciones IDAE, http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_11261_EscalaCalifEnerg_EdifExistentes_2011_accesible_c762988d.pdf
(accessed 26/09/2018)
- [23] Martín-Consuegra, F., de Frutos, F., Oteiza, I., & Agustín, H. A. (2018). Use of cadastral data to assess urban scale building energy loss. Application to a deprived quarter in Madrid. *Energy and Buildings*, 171, 50-63. Accepted 3 April 2018
- [24] Corgnati, S. P., Fabrizio, E., Filippi, M., & Monetti, V. (2013). Reference buildings for cost optimal analysis: Method of definition and application. *Applied energy*, 102, 983-993.
- [25] Sech-Spahousec, P. (2011). Análisis del consumo energético del sector residencial en España. *Informe final*: URL: http://www.idae.es/uploads/documentos/documentos_Informe_SPAAH_OUSEC_ACC_f68291a3.Pdf Índice de Figuras Figura, 1.

- [26] Sánchez-García, D., Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J., Guevara-García, F., & Canivell, J. (2018). Adaptive Comfort Models Applied to Existing Dwellings in Mediterranean Climate Considering Global Warming. *Sustainability*, 10(10), 3507.
- [27] Instituto Valenciano de la Edificación (IVE). Consejería de Vivienda, Obras Públicas y Vertebración del Territorio. Generalitat Valenciana. <http://www.five.es/publicaciones/CataTipoEdifResi/arc/assets/basic-html/index.html#1>
- [28] UPDATE OF THE SPANISH REGULATION REGARDING VENTILATION AND INFILTRATION: ANALYSIS, COMPARISONS AND REPERCUSSIONS. Salmerón Lissén José Manuel, Sánchez de la Flor Francisco José, Álvarez Domínguez Servando, Molina Félix Jose Luis, and Macías Olga. University of Seville, Grupo de Termotecnia, Sevilla, Spain. University of Cadiz, Dpto. De Máquinas y Motores Térmicos, Cádiz, Spain. Tecnalia, Parque tecnológico de Bizkaia, Vizcaya, Spain.
- [29] Boermans, T., & Petersdorff, C. (2007). U-values for better energy performance of buildings. Raport of Ecofys for Eurim, 15-17.
- [30] UNE-EN ISO 13465:2004
- [31] UNE-EN ISO 15242:2007
- [32] Consumos del Sector Residencial en España Resumen de Información Básica. EUROSTAT European Comission; Ministerio de Industria, Energía y Turismo, Gobierno de España; Instituto para la Diversificación y Ahorro de Energía (IDAE).
- [33] UNE-EN ISO 14683:2000. Puentes térmicos en la edificación. Transmitancia térmica lineal. Métodos simplificados y valores por defecto.
- [34] Joe H. Ward Jr. (1963): Hierarchical Grouping to Optimize an Objective Function, *Journal of the American Statistical Association*, 58:301, 236-244
- [35] Patteeuw, D., Henze, G. P., Arteconi, A., Corbin, C. D., & Helsen, L. (2019). Clustering a building stock towards representative buildings in the context of air-conditioning electricity demand flexibility. *Journal of Building Performance Simulation*, 12(1), 56-67.
- [36] D'Agostino, D., & Parker, D. (2018). A framework for the cost-optimal design of nearly zero energy buildings (NZEBS) in representative climates across Europe. *Energy*, 149, 814-829.
- [37] Zangheri, P., Armani, R., Pietrobon, M., & Pagliano, L. (2018). Identification of cost-optimal and NZEB refurbishment levels for representative climates and building typologies across Europe. *Energy Efficiency*, 11(2), 337-369.