



TESIS DOCTORAL

**NANOCLIMAS URBANOS: UN NUEVO MODELO DE
AHORRO ENERGÉTICO PARA MADRID CAPITAL**

AUTOR: JUAN CARLOS CARMONA CASADO, ARQUITECTO

DIRECTORES: Dña. ALICIA OZÁMIZ FORTIS
D. EDUARDO MEDINA SÁNCHEZ
ESCUELA SUPERIOR DE ARQUITECTURA Y TECNOLOGÍA
DOCTORADO EN ARQUITECTURA
MADRID 2017

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar quiero agradecer, a la Investigadora Principal (IP) del Proyecto de Investigación NANOCLIMA de la Universidad Camilo José Cela, además de Directora de mi Tesis, la doctora Doña Alicia Ozámiz Fortis, así como al insigne Dr. Don José Miguel de Prada Poole, como investigador experto del mismo, el haberme incluido en este Proyecto, línea de investigación cuyo objetivo a largo plazo es, fundamentalmente, lograr la optimización pormenorizada del ahorro energético en cada enclave urbano. Gracias a su dirección y gestión nos ha sido posible a los participantes, tanto poder disponer de los aparatos necesarios para la toma directa de los datos climáticos significativos a pie de calle del desarrollo del análisis, como descubrir una pasión por la investigación hasta la fecha oculta. Gracias también a todos los becarios implicados directamente o como suplente en el trabajo de campo del Proyecto NANOCLIMA, Miguel Díaz Martín, David García Amat, Javler García Fernández-Carrión, Tamara Pérez Santiago, Natalia Quintanar, Álvaro Vázquez Pérez, Miguel Ángel Diego Alonso, Fernando Campos Alguacil y Daniel Otero, sin cuyo trabajo diario y constante no hubiera sido posible la confección de la base climática anual utilizada en los cálculos.

En segundo lugar, al segundo director de mi Tesis, el Dr. Don Eduardo Medina, por todas sus sugerencias y apoyo en la elaboración de la misma, facilitándome hasta el extremo su proceso de redacción y defensa. Y por último, y no menos importante, a mi mujer Marta y a mis hijos, Sara, Carlos y Rubén, fuente de inspiración y motivación diaria, responsables de que constantemente me planteo nuevas metas y sueños que alcanzar.

ÍNDICE

Resumen	13
Abstract	15
<u>CAPÍTULO 1: MOTIVACIONES, HIPÓTESIS DE PARTIDA Y OBJETIVOS</u>	17
<u>CAPÍTULO 2: ESTADO DEL ARTE</u>	21
2.1 Antecedentes	21
2.1.1 Estudios realizados en el mundo	24
2.1.2 Estudios realizados en Europa	28
2.1.3 Estudios realizados en el caso concreto de España	33
2.1.4 Entorno normativo existente de acuerdo a criterios energéticos	38
2.2. Conceptos teóricos y metodología de cálculo de Cargas térmicas en los edificios	42
2.2.1 Carga térmica	42
2.2.2 Cálculo de la carga térmica para refrigeración	44
2.2.3 Cálculo de la carga térmica sensible	45
2.2.4 Cálculo de la carga térmica latente	56
2.2.5 Cálculo ventilación y renovación de aire interior	58
2.2.6 Cálculo de la carga térmica para calefacción	70
2.2.7 Tratamiento de resultados	71

<u>CAPÍTULO 3: TÉCNICAS EXPERIMENTALES</u>	73
3.1 Instrumentos de medición empleados	73
3.2 Método utilizado	77
3.3 Software informático de simulación utilizado	78
<u>CAPÍTULO 4: TRABAJO EXPERIMENTAL</u>	79
4.1 Elección del entorno de estudio	79
4.2 Pautas de medición	82
4.3 Trabajo de campo	84
4.4 Método empleado. Simulaciones energéticas	85
4.5 Definición puntos de medición situación modelo virtual	89
4.5.1 Punto A1. Alcalá, 331	89
4.5.2 Punto A2. Alcalá, 308	92
4.5.3 Punto B1. Alcalá, 225	95
4.5.4 Punto B2. Alcalá, 192	98
4.5.5 Punto C1. Alcalá, 119	101
4.5.6 Punto C2. Alcalá, 70	104
4.6 Definición planimétrica del modelo a simular	107
4.7 Definición constructiva del modelo a simular	115
4.7.1 Cerramientos exteriores	115
4.7.1.1 Fachadas	115
4.7.1.2 Medianeras	117

4.7.2 Suelos en contacto con el exterior	118
4.7.2.1 Soleras	118
4.7.3 Cubiertas	119
4.7.3.1 Azoteas	119
4.7.4 Huecos verticales	120
4.7.5 Sistema de compartimentación interior	123
4.7.6 Materiales	126
4.7.7 Puentes térmicos	128
<u>CAPÍTULO 5: RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LOS MISMOS</u>	129
5.1 Elaboración e interpretación fichas de medición trabajo de campo	129
5.2 Resumen y análisis trabajo de campo	133
5.3 Generación de resultados	142
5.4 Comparativa de resultados de cargas térmicas	151
<u>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES</u>	157
<u>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</u>	163
<u>ANEXO:</u>	
<u>PROYECTO INVESTIGACIÓN NANOCLIMA optimización del ahorro energético: nanoclimas urbanos en Madrid</u>	
<u>Nº de expdte. 2012-14 UCJC CUADRO ESTRUCTURA ORGÁNICA</u>	195

LISTADO DE TABLAS Y FIGURAS INDICADAS EN LOS CAPÍTULOS

Figuras

Figura 1. Eje urbano NW-SE y NS de Madrid

Figura 2. Mapa de la observación del Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) relativo a las temperaturas de un área de Madrid, en la noche.

Zona: Paseo de la Castellana. Imagen: 1 julio 2008

Figura 3. Localización de las zonas climáticas de Estados Unidos.

Figura 4. Clasificación de zonas climáticas Norma IRAM 11603.

Figura 5. Zonas climáticas Anexo 1 RT francesa.

Figura 6. Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT

Figura 7. Diagrama dirección pérdidas flujos de calor.

Figura 8. Estación metereológica portátil Kestrel 5000.

Figura 9. Cámara termográfica FLIR E60.

Figura 10. Imagen localización entorno estudio en área metropolitana Madrid.

Figura 11. Imagen tramo estudio calle Alcalá incluyendo los 5 vértices de estudio – Madrid (vista O-E).

Figura 12. Detalle puntos de medición Calle Alcalá (vista N-S). Informes resumen mensuales.

Figura 13. Localización punto A1.

Figura 14. Vista aérea punto A1.

Figura 15. Termografías e imágenes calle Punto A1 invierno (Alcalá 331).

Figura 16. Termografías e imágenes calle Punto A1 verano (Alcalá 331).

Figura 17. Localización punto A2.

Figura 18. Vista aérea punto A2.

Figura 19. Termografías e imágenes calle Punto A2 invierno (Alcalá 308).

Figura 20. Termografías e imágenes calle Punto A2 verano (Alcalá 308).

Figura 21. Localización punto B1.

Figura 22. Vista aérea punto B1.

Figura 23. Termografías e imágenes calle Punto B1 invierno (Alcalá 225).

Figura 24. Termografías e imágenes calle Punto B1 verano (Alcalá 225).

Figura 25. Localización punto B2.

Figura 26. Vista aérea punto B2.

Figura 27. Termografías e imágenes calle Punto B2 invierno (Alcalá 192).

Figura 28. Termografías e imágenes calle Punto B2 verano (Alcalá 192).

Figura 29. Localización punto C1.

Figura 30. Vista aérea punto C1.

Figura 31. Termografías e imágenes calle Punto C1 invierno (Alcalá 119).

Figura 32. Termografías e imágenes calle Punto C1 verano (Alcalá 119).

Figura 33. Localización punto C2.

Figura 34. Vista aérea punto C2.

Figura 35. Termografías e imágenes calle Punto C2 invierno (Alcalá 70).

Figura 36. Termografías e imágenes calle Punto C2 verano (Alcalá 70).

Figura 37. Planta sótano

Figura 38. Vista fachada principal e interior núcleo de escaleras.

Figura 39. Vista interior núcleo de escaleras.

Figura 40. Planta baja.

Figura 41. Vista exterior fachadas de patio interior 1.

Figura 42. Vista exterior fachadas de patio interior 2.

Figura 43. Planta tipo.

Figura 44. Vista interior núcleo comunicaciones 1.

Figura 45. Vista interior núcleo comunicaciones 2.

Figura 46. Planta ático.

Figura 47. Planta de cubiertas.

Figura 48. Alzado principal calle Alcalá.

Figura 49. Vista fachada principal 1.

Figura 50. Vista fachada principal 2.

Figura 51. Sección por la escalera.

Figura 52. Vista interior núcleo de escaleras.

Figura 53. Sección transversal por el patio.

Figura 54. Vista exterior patio interior.

Figura 55. Imagen virtual del edificio.

Figura 56. Ficha mediciones trabajo de campo.

Tablas

Tabla 1. Condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior.

Tabla 2. Temperatura exterior de cálculo en función de la orientación y elemento constructivo.

Tabla 3. Calor latente y sensible en función de la actividad realizada y temperatura ambiente interior de local.

Tabla 4. Temperaturas interiores de diseño.

Tabla 5. Clasificación del metabolismo por tipo de actividad.

Tabla 6. Clasificación del aislamiento en función del tipo de ropa.

Tabla 7. Renovaciones hora necesarias según tipo de establecimiento.

Tabla 8. Renovaciones hora necesarias según tipo de establecimiento.

Tabla 9. Caudales de aire exterior en función del tipo de local.

Tabla 10. Caudales de aire exterior por persona y unidad de superficie.

Tabla 11. Concentración de CO₂ máxima admisible en los locales.

Tabla 12. Clases de filtraciones mínimas en función de categoría de aire exterior.

Tabla 13. Localización de vértices que definen eje de estudio calle Alcalá.

Tabla 14. Datos cartográficos localización punto A1.

Tabla 15. Datos cartográficos localización punto A2.

Tabla 16. Datos cartográficos localización punto B1.

Tabla 17. Datos cartográficos localización punto B2.

Tabla 18. Datos cartográficos localización punto C1.

Tabla 19. Datos cartográficos localización punto C2.

Tabla 20. Definición constructiva muro sótano.

Tabla 21. Definición constructiva fachada de patio.

Tabla 22. Definición constructiva fachada principal.

Tabla 23. Definición constructiva de las medianeras.

Tabla 24. Definición constructiva soleras planta baja.

Tabla 25. Definición constructiva de cubiertas.

Tabla 26. Definición constructiva huecos verticales fachada (ventanas y puertas).

Tabla 27. Definición constructiva muros de carga y tabiques interiores.

Tabla 28. Definición constructiva de forjados.

Tabla 29. Definición constructiva puertas interiores.

Tabla 30. Definición constructiva materiales.

Tabla 31. Definición puentes térmicos.

Tabla 32. Tabla resumen trabajo de campo.

Tabla 33. Resumen temperatura medias en verano.

Tabla 34. Resumen temperaturas máximas en verano.

Tabla 35. Resumen temperaturas medias en invierno.

Tabla 36. Resumen temperaturas mínimas en verano.

Tabla 37. Resumen incrementos de temperatura detectados verano.

Tabla 38. Resumen incrementos de temperatura detectados en invierno.

Tabla 39. Resumen humedad relativa media en verano.

Tabla 40. Resumen humedad relativa media en invierno.

Tabla 41. Resumen temperatura húmeda en verano.

Tabla 42. Tabla tipo resumen simulación energética, obtención de resultados.

Tabla 43. Tabla tipo resumen resultados cargas térmicas edificio.

Tabla 44. Datos climáticos empleados en simulación punto A1.

Tabla 45. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto A1.

Tabla 46. Datos climáticos empleados en simulación punto A2.

Tabla 47. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto A2.

Tabla 48. Datos climáticos empleados en simulación punto B1.

Tabla 49. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto B1.

Tabla 50. Datos climáticos empleados en simulación punto B2.

Tabla 51. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto B2.

Tabla 52. Datos climáticos empleados en simulación punto C1.

Tabla 53. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto C1.

Tabla 54. Datos climáticos empleados en simulación punto C2.

Tabla 55. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto C2.

Tabla 56. Comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual atendiendo a base climática actual (caso A0) y base climática medida in situ (caso A2).

Tabla 57. Comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual respecto de todas las localizaciones de medición de campo en Vatios (W).

Tabla 58. Extracto tabla comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual respecto de todas las localizaciones de medición de campo en Vatios (W).

ANEXOS: (se adjunta CD)

ANEXO A: Fichas mediciones climáticas de campo

ANEXO B: Fichas resumen mensuales datos climatológicos en puntos de simulación modelo virtual

ANEXO C: Tablas resumen cálculo cargas térmicas

ANEXO D: Cálculos completos cargas térmicas

ANEXO E: PROYECTO INVESTIGACIÓN NANOCLIMA optimización del ahorro energético: nanoclimas urbanos en Madrid N° de expdte. 2012-14 UCJC

Resumen

Esta Tesis Doctoral nace como fruto de una preocupación e interés personal tras la defensa de mi Trabajo Fin de Master "El Despilfarro Energético: Nanoclimas Urbanos en Madrid" y mi participación como doctorando y coordinador de becarios en el Proyecto de Investigación "NANOCLIMA: optimización del ahorro energético: nanoclimas urbanos en Madrid", perteneciente al Grupo de Investigación "Arquitectura Bioclimática y Ahorro Energético" de la Escuela Superior de Arquitectura y Tecnología de la Universidad Camilo José Cela de Madrid¹. Este proyecto, impulsado y dirigido desde un principio por la directora de mi Tesis la Dra. Dña. Alicia Ozámiz Fortis, junto con el Dr. D. José Miguel de Prada Poole (doctor arquitecto e insigne figura dentro de la sostenibilidad en nuestro país), trata de evidenciar, a pie de calle, la existencia de diferencias de temperatura muy significativas en un mismo entorno urbano, para una misma hora de medición, en un mismo día y un mismo mes de un determinado año.

Este hecho considerado en sí mismo, evidenciaría la existencia de "climas dentro de climas" dentro de un mini-entorno urbano determinado a escala muy reducida, incluso menor que el de la manzana urbana. Esta es la razón, por la que el término "microclimas", hasta ahora empleado en muchas publicaciones especializadas, se queda corto, y surge así un nuevo término para definir esas nuevas situaciones de "microclimas dentro de microclimas", acuñado por D. José Miguel de Prada Poole, y que no es otro que el de "Nanoclimas".

Con esta sólida base como punto de partida, el objetivo de esta Tesis será medir y cuantificar en términos de energía, el ahorro energético

¹ Ver cuadro Estructura Organiza Proyecto Investigación NANOCLIMA (pág. 195)

generado al matizar y pormenorizar el marco normativo hasta ahora vigente en nuestro país en este aspecto (Cód. Téc. Edificación) [AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación, 2014], estudiando las cargas térmicas generadas en la arquitectura de un entorno urbano previamente elegido de Madrid capital (en este caso la c/ Alcalá de la capital en el tramo comprendido desde su nº 20 hasta el 418 (coincidiendo con el tramo elegido en el T.F.M. realizado por mí mismo en septiembre de 2012 dentro del MEEyAB). Se generará en consecuencia, un modelo arquitectónico concreto que pueda servir como referencia en la medida y cuantificación energética de la realidad constructiva existente y que, además, suponga un criterio constante a la hora de realizar los cálculos pertinentes en cuestión de transmitancias de cerramientos, cargas térmicas de los espacios interiores y demanda energética.

Para generar el modelo energético, se elige un edificio característico de la arquitectura de Madrid de los años 50, arquitectura predominante en el tramo de estudio, (en este caso un edificio de viviendas y locales de cinco alturas situado en la c/ Alcalá, 308) y se simulará su demanda energética en varias localizaciones virtuales dentro del entorno de estudio de la citada calle madrileña. Dichas localizaciones virtuales responderán a situaciones meditadas e intencionadas en el tramo de calle en cuestión, donde se evidencien las diferencias de temperatura existentes (que no valores). Estas diferencias de temperatura en las condiciones exteriores de los edificios, para un mismo entorno urbano, hace que pueda proponerse una nueva alternativa, pormenorizando la normativa empleada, y que pueda significar un modelo de ahorro hasta ahora no considerado y muy útil, no solo en términos de energía sino también en energéticos y constructivos.

Abstract

The Thesis is born of a concern and personal interest after my participation as a Traniee coordinator and doctoral student in the Research Project "NANOCLIMA, optimization of energy saving: Urban Nanoclimates in Madrid", belonging to the research group Bioclimatic Architecture and Energy Saving of the School of Architecture and Technology Camilo José Cela University in Madrid. This project, initiated and led from the beginning by the director of my thesis, Ph. Mrs. Alicia Ozámiz Fortis, near to Ph. Mr. José Miguel de Prada Poole, Ph. and illustrious architect character in the living history of our architecture is evident, at street level, the existence of very significant temperature differences in the same urban environment, for the same measurement time, on the same day and month of a given year.

This fact taken by itself, demonstrate the existence of "climates within climates" within a given urban environment at almost urban block. This is the reason why the term " microclimates " until now used in many publications , he is short , and so there is a new term for these new situations " microclimates within microclimates " coined by D. José Miguel de Prada Poole, and that is none other than "Nanoclimas" .

With this solid foundation as a starting point, the aim of this thesis is to measure and quantify in terms of energy, energy saving and itemize generated to refine the current regulatory framework so far in our country in this regard (Technical Building Code) studying the thermal loads generated by the architecture of an environment previously chosen city of Madrid (in this case the Alcala street in the capital in the stretch from number 20 to 418). Is generated accordingly, a particular architectural model to serve as a reference in the measure

quantification of the existing constructive and energetic reality and, moreover, assume a constant criterion when performing the relevant calculations transmittances within enclosures, loads heating of the interior spaces and energy demand.

To create the energetic model, a characteristic building of the architecture of Madrid of the 50s (in this case a building of five homes and premises situated at heights Alcalá, 308) is chosen and its energy demand is simulated in various locations within the virtual studio environment Madrid of that street. These virtual locations respond to situations thoughtful and deliberate on the stretch of road in question, where the differences in temperature (not values) are evident.

These temperature differences in the external conditions of the buildings, for the same urban environment, makes it proposed a new alternative, it expands on the rules used, and that can mean saving model hitherto considered very useful in terms of energy.

Capítulo 1: Motivaciones, hipótesis de partida y objetivos

“Si fuéramos conscientes de la existencia de microclimas dentro de microclimas, dentro de un entorno urbano a escala de barrio o manzana, generaríamos una realidad climática pormenorizada mucho más efectiva que la instaurada por la normativa vigente del Código Técnico de la Edificación. Cambiaríamos pues de prefiijo y denominaríamos a esta nueva situación “Nanoclimas Urbanos”. Pensad en lo que esto significaría (...)” [Prada Poole, 2011]

Este discurso despertó en mi interior un arduo interés por conocer y demostrar de primera mano la existencia de estos “Nanoclimas” y, sobre todo, de cuantificar el Ahorro Energético que la consideración de su existencia nos aportaría a nuestra arquitectura. Fenómenos urbanos ya estudiados como los efectos de la “Isla de Calor” [LÓPEZ GÓMEZ A., LÓPEZ GÓMEZ J., FERNÁNDEZ GARCÍA F., MORENO JIMÉNEZ A., 1993] [MIRZAEI, P. A.; 2010], ponían de manifiesto la existencia de una base de datos climática muy generalista basada en mediciones de estaciones meteorológicas fijas en lugares muy alejados de la ciudad unos de otros. Estas bases de datos evidenciaban pues una Normativa Técnica muy amplia basada en sus datos de medición, un entorno de estudio y un tratamiento de conclusiones a escala demasiado elevada.

Un primer acercamiento, termómetro en mano, tal como se indicaba en mi Trabajo Fin de Master de la UCJC [CARMONA, J.C.; 2012], por recomendación del Profesor Dr. Prada Poole, llevó a analizar el entorno físico y arquitectónico de la calle Alcalá de Madrid. Más concretamente un tramo de ella, comprendido entre la Plaza de Cibeles (aproximadamente su número 20) y su intersección con la calle Arturo Soria (a la altura del número 414). Esta primera toma de contacto

fue muy reveladora, hasta el punto de poder comprobar en primera persona, diferencias de hasta 4 °C entre los distintos puntos de medición. Esta primera evidencia abría un camino preciso hacia una nueva concepción del consumo energético de los edificios: podíamos cuantificar las diferencias fehacientes entre las cargas térmicas de los mismos (en términos de demanda, calculadas, conforme a la normativa y datos climatológicos actuales y generales), y las que se pueden postular a partir de esta nueva situación física existente.

Somos conscientes que este es un primer paso hacia una nueva concepción del ahorro de energía. Los datos climáticos utilizados en la normativa actual responden a períodos “clino”, media ponderada de los datos obtenidos en los últimos 30 años respecto al año de medición, y que nuestro estudio se basa en las mediciones obtenidas en un solo año. Por ello, matizaremos que no se trata aún de crear una base de datos nueva, sino de poner de manifiesto, y cuantificar en porcentaje el posible ahorro energético generado si se integraran en los cálculos los nuevos datos climáticos obtenidos. Extrapolando a los datos actuales, la diferencia de temperatura obtenida equivaldría a considerar seriamente la existencia de “subzonas climáticas”, con identidad y valores energéticos propios dentro de las “Zonas Climáticas” ya definidas en el Código Técnico de la Edificación [AENOR, 2009]. Realizar una simulación energética con una base de datos climática acorde a su entorno cercano (en este caso, escala de manzana, frente a la actual escala de ciudad) supondrá obtener unos valores de demanda de energía que podamos comparar con los obtenidos en base a la norma actual y obtener así qué variaciones porcentuales se obtienen. Este ajuste en la demanda real de energía del edificio, traducido a términos económicos, podría ser determinante en la política energética de cualquier municipio o ciudad.

Una vez determinados los puntos de estudio dentro del entorno urbano elegido, extraeremos de las bases de datos generadas aquellos valores de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y presión atmosférica que les correspondan. Siendo precisamente estos valores de temperatura aquellos verdaderamente significativos de cara a poder cuantificar los incrementos reales de energía producidos en el entorno de estudio (siendo estas mediciones ajenas al Sistema Integrado de Mediciones (SIM) que el Excelentísimo Ayuntamiento de Madrid tiene instaurado en la capital, implementado a escala de ciudad, mucho mayor de la que planteamos en esta hipótesis).

Los demás datos de humedad relativa, velocidad del viento y presión barométrica servirán como verdadero indicativo que justificará los incrementos de temperatura existentes en nuestro medio físico elegido, dando base a las conclusiones que se extraerán de las realidades estudiadas.

Toda esta información, se podrá emplear en la generación de un modelo energético de un modelo base, que servirá para cuantificar la energía demandada por un mismo edificio en términos de cargas térmicas (calefacción, refrigeración y ventilación) atendiendo a distintos posicionamientos virtuales dentro de la trama urbana del entorno elegido. Estos posicionamientos del modelo responderán a enclaves estratégicos dentro del perfil de la calle Alcalá que, bien por su cota, situación, exposición o afectación, proponen realidades físicas distintas dentro de un mismo entorno de trabajo. Asimismo, además de estas tres posiciones propuestas (Alcalá, 308; Alcalá, 192 y Alcalá, 70) se generarán otras tres más (Alcalá, 331; Alcalá, 225 y Alcalá 119) únicamente con la salvedad de estar ubicadas en la acera opuesta a las primeras (localización afectada por nuevos factores de

sombreamiento y radiación solar que los medidos inicialmente a la hora de la toma de datos en el trabajo de campo [BORJA, J. 2003].

La intención es simple: se adoptará un modelo arquitectónico común, (con una tipología arquitectónica y constructiva que se repite a menudo en el entorno de estudio por la época de su formación, en este caso el edificio de viviendas situado en la calle Alcalá, 308), y se calcularán las demandas de energía correspondientes a su situación real [ARDURA, A.; 2005] [ARREDONDO, I. A.; 2005]. Una vez obtenidos estos datos de referencia se calcularán las demandas de energía que requeriría el edificio si estuviera enclavado en las otras cinco localizaciones elegidas. De esta comparativa de seis posiciones del edificio (una real y cinco hipotéticas), se podrán cuantificar en términos energéticos los incrementos producidos en función de las características del entorno existente, un entorno no medido a escala de ciudad sino casi de manzana edificatoria

Se simulará siempre un mismo modelo arquitectónico, en este caso el edificio de viviendas situado en el número 308 de la calle Alcalá, para poder comparar resultados una vez se cambie (virtual que no físicamente) su posición en el entorno urbano objeto de estudio. Lo verdaderamente importante radica en considerar siempre un mismo modelo de referencia para poder cuantificar los resultados de demanda energética atendiendo siempre a las mismas variables. Una vez realizadas las simulaciones pertinentes será momento de cuantificar y valorar los resultados obtenidos y de sacar las conclusiones correspondientes, viendo así si se corresponden con las hipótesis iniciales. Promete ser un camino apasionante.

Capítulo 2: Estado del arte

2.1 Antecedentes

Dentro del Proyecto de Investigación 'NANOCLIMA' dentro del grupo BETA de la ESAYT de la UCJC se ha podido realizar una composición de lugar de qué situaciones similares a la que es objeto de estudio se han producido en el mundo y cómo se han acometido².

El fenómeno del 'clima urbano' a lo largo del presente siglo ha ido acaparando progresivamente la atención del conjunto de las Ciencias Sociales [AULICIEMS, A.; 2007] [BERKOVIC, S; 2001] [BLAZEJCZYK, K.; 2001] [BOLUND, P.; 1999] [BOURBIA, F.; 2010]. Su trascendencia económica, social, cultural y política le ha otorgado un lugar privilegiado como tema de estudio de diversas disciplinas [ACERO, J.; 2012] [LÓPEZ GÓMEZ, A. et al; 1993] [BELLO FUENTES, V. 1994] [BELLO FUENTES, V. 1995], en torno a él se han ido concretando multiplicidad de cuestiones científicas que lo configuran, así como un importante campo interdisciplinario.

La ciudad actúa como un factor modificador importante del clima local y crea unas condiciones medioambientales concretas, que pueden definirse como microclima urbano [LÓPEZ GÓMEZ, A.; 1991]. La diferencia de condiciones microclimáticas de los espacios dentro de una misma ciudad es una de las consecuencias producidas por el conjunto construido por edificios, calles y superficies pavimentadas [AA.VV.; 2004] [AA.VV.; 2005] [AA.VV.; 2009] [AHMED, K.; 2003] [ALI-TOUDERT, F.; 2006] [ALI-TOUDERT, F.; 2007] [BRETZ, S; 1998] [CANDAS, V.; 2005] [CARDENAS JIRON, L.; 2010] [CARTER, G.; 2006] [CENA, K.; 1981]. Es

² Ver ANEXO en CD Informe Resultados Tarea 1 IR -T1, apartado 1.2

precisamente esta barrera pre-establecida la que se quiere romper y dar un paso más en la definición climática del lugar, llegando casi a la escala de manzana urbana [LÓPEZ DE LUCIO, R.; 2007].

En los años 70 del siglo XX, a raíz de la crisis energética, con el boom de las fuentes renovables de energía, la arquitectura bioclimática, etc., se empezó a considerar el efecto que tiene el espacio construido con fines de reducción de la contaminación y conservación energética [LÓPEZ DE LUCIO, R. 1979-1999]. Hoy en día, el problema del efecto invernadero, los temas de la ecología y de la sostenibilidad de los espacios, hacen que esta línea de investigación en el campo de la arquitectura y del urbanismo tome más fuerza. El conocimiento y el control de las condiciones microclimáticas urbanas es fundamental tanto para la eficiencia energética y la reducción de las emisiones, como para garantizar espacios de vida confortables para los ciudadanos [RODRÍGUEZ BASCON, P., 2002].

El clima urbano se define en términos de comparación con su entorno rural y a partir de estas diferencias entre ambos, se puede caracterizar el comportamiento de la ciudad, aunque cada ciudad conserve las condiciones climáticas características de la región en que se asienta [LÓPEZ GÓMEZ, A., 1993]. La ciudad por sí misma, introduce una serie de variantes, y factores atenuantes directamente relacionados con su propia naturaleza y que se convertirán, a posteriori, en elementos plenamente definidores de un clima a escala casi nanotecnológica dentro del urbanismo en sí. Pavimentos, obstrucciones solares, sobrecalentamiento, tráfico, habitantes, costumbres... son elementos plenamente definidores del espacio urbano propiamente dicho y que, a la postre, influirán de manera directa en las temperaturas diarias medidas en su entorno. Será precisamente la oscilación de estas

temperaturas para un mismo día y hora, dentro de una escala de manzana urbana, sobre las que nos centraremos para poder acercarnos a la hipótesis propuesta. [GIVONI, B.; 1992] [GIVONI, B.; 1998] [GIVONI, B.; 2003] [GÓMEZ, A.; 1993] [GÓMEZ, F.; 2004] [GÓMEZ DE PEROZO, N. 2012] [GÓMEZ MENDOZAS, J.; 2004] [GONZÁLEZ, N.; JAVIER, F.; 2011] [NIKOLOPOULOU M.; 2001] [NIKOLOPOULOU M.; 2002] [NIKOLOPOULOU M.; 2006] [NIKOLOPOULOU M.; 2007].

En una misma ciudad pues, pueden encontrarse una gran diversidad de matices. Esto es consecuencia de la heterogeneidad en la morfología y estructura de los espacios construidos, lleva a un análisis a escala local que corresponde a espacios más pequeños, espacios que se pueden denominar *‘Nanoespacios Urbanos’* [PRADA-POOLE, J.M.; 2012], definidos en consecuencia, por una serie de características *‘Nanoclimáticas’* determinadas. Se considera que es necesario dar un paso más en la definición climática (llegando si fuera necesario a la escala de solar) para poder, en el sentido estricto de la palabra, postular por un ahorro energético mucho mayor únicamente atendiendo a la mayor exactitud de la oscilación de temperatura diaria y la amplitud térmica obtenida.

Los estudios existentes del clima urbano se han centrado, sobre todo, en la constatación de la existencia de una diferencia térmica, a favor del centro urbano, entre éste y la periferia de las ciudades [OKE, T.R.; 1980] [OKE, T.R.; 1987] [CARRERAS, C.; 1990] [CORREA, E.N.; 2003] [DAVIES, M.; 2008] [DIMOUDI, A.; 2003] [JOHANSSON, E.; 2006] [GAYEV, Y. A.; 1999] [MORENO GARCÍA, M.C.; 1993] [NIKOLOPOULOU, M., 2004].

Se realizará a continuación en extracto de los trabajos más significativos realizados en este ámbito, empezando a nivel mundial, para luego

concretizar más en el continente europeo y finalizar en nuestro país. De esta forma se actuará como un microscopio de aumento, empezando por la generalidad mundial, hasta llegar a nuestro entorno más cercano, para abordar al final los distintos entornos normativos existentes y sus características más destacadas respecto a criterios energéticos

2.1.1 Estudios realizados en el mundo

"En cuanto a los antecedentes en el mundo, podemos decir que las ciudades norteamericanas, en general, y las japonesas en particular, son las que han sido objeto de mayor número de estudios microclimáticos. La ciudad de Nueva York cuenta con un estudio inicial sobre la isla térmica [BORNSTEIN, R.; 1968]. Como Nueva York, la mayor parte de las grandes ciudades de los Estados Unidos cuentan con estudios globales o parciales de clima urbano (Fig. 2. Localización de las zonas climáticas de Estados Unidos empleada en los estudios de Bornstein de 1968. [BORNSTEIN, R.; 1968]), entre los que vale la pena destacar la ciudad de Saint Louis, con más de diez estudios importantes sobre su clima desde que Clarke y Peterson diseñaran en 1973 un modelo empírico sobre las variaciones espacio-temporales de su isla de calor [CLARKE, J. F. and PETERSON, J. T.; 1973]."

"Toronto (Canadá), quizás por su papel pionero, ha seguido siendo objeto de estudios climáticos, entre los que hay que destacar una valoración de balances energéticos, a cargo de uno de sus especialistas, como fue David Yap [YAP, D.; 1975]. Pero Montreal ha sido la más estudiada de las ciudades canadienses debido a los trabajos de Oke y sus discípulos [OKE, T.R.; 1980]

En Japón, el clima de Hiroshima atrajo muy pronto la atención de los investigadores y cuenta con diversos trabajos sobre clima urbano, entre los que destaca uno inicial clásico que no tuvo en cuenta la constatación de la peculiar modificación climática de esta ciudad [SHITARA, H.; 1957], y una síntesis posterior [FUKUOKA, Y. y NOBUYUKI, T.; 1980]. Tokio figura, lógicamente, entre las ciudades japonesas más estudiadas, con múltiples trabajos de microclima urbano [KAYANE, I.; 1964] [SASAKURA, K.; 1965]". Destacable es en este aspecto un estudio similar realizado en Hong Kong [GIRIDHARAN, R.; 2007] que sigue este patrón de actuación

En América Latina destacan la ciudad de México [JÁUREGUI, E.; 1973], Río de Janeiro [GALLEGO, L.P.; 1972] y, sobre todo, Sao Paulo con una tesis construida a partir de la información de las imágenes de satélite [LOMBARDO, M.A.; 1985]. Pero recientemente, las ciudades de América Latina han demostrado un mayor interés por constatar la existencia de las diferencias microclimáticas dentro de la ciudad, presentando importantes trabajos en distintas regiones, Argentina [SUÁREZ, E; 1993], Cuba... [CASTRO, A.; 2004]

En Argentina existe un interesante trabajo denominado *‘Microclimas urbanos en Córdoba, Argentina’* [SUÁREZ, E.; 1993] cuyo objetivo era el de detectar la existencia de microclimas en una urbe. La metodología estaba basada en la formulación de modelos de análisis, inspirados en los trabajos micro-meteorológicos de Landsberg (1981) y Oke (1987), hasta la realización de una serie de mediciones higrotérmicas que tuvieron lugar entre el 15 y el 22 de setiembre de 1991.

El trabajo de campo consistió en realizar 6 campañas sucesivas en el horario entre las 14 y 16 horas del mes de Septiembre con el equipo de

medición, consistente en termómetro de voleo, psicrómetro, anemómetro y foto sensor. Se realizaban tomas en las diferentes rutas cada tres minutos de vehículo, asegurando las condiciones de similitud ambiental de cada registro, todo en aproximadamente 100 minutos. Posteriormente, con los datos analíticos y las mediciones se prepararon termografías.

Algunas de las conclusiones establecidas por los investigadores tras la constancia de la existencia de microclimas dentro de la ciudad, fueron: la necesidad de un análisis del impacto en la demanda de la carga de energía que provoca la isla de calor y la existencia de microclimas y la necesidad de efectuar una revisión de la IRAM 11 603 (Normativa térmica), ya que la misma no contempla la presencia de microclimas.

Algo similar ocurría en el estudio denominado '*Microclimas urbanos en ciudades del centro de Cuba*'. [ÁLVAREZ LÓPEZ, A.E.; 2004] Este trabajo tiene como objetivo la necesidad en ciudades del centro de Cuba, particularmente en la provincia de Villa Clara, de un estudio ambiental, que en interrelación con las tareas de planeamiento y diseño urbanístico arquitectónico, proporcionen elementos más precisos para la toma de decisiones y criterios en las acciones de planes parciales, rehabilitación e inserción que se realicen dentro de las mismas. Se analizan los problemas de la isla de calor urbana, se definen las variables y parámetros que influyen sobre las condiciones microclimáticas térmicas, y también, los mapas térmicos y otros de interés para el planeamiento y diseño urbanístico, todo a través de SIG.

Las ciudades estudiadas fueron Santa Clara, capital provincial, Sagua la Grande, Caibarien y Placetas, todas cabeceras municipales. Se realiza en ellas un proceso de mediciones in situ para valores de temperatura,

humedad relativa y velocidad del viento en diferentes puntos, durante los meses de verano e invierno. Para ello, se elige cierta cantidad de puntos (con separaciones entre 250 y 500 metros) representativos dentro de la zona a analizar, con características de espacios abiertos, no cercanos a edificaciones que apantallan el lugar, donde se pueden lograr datos lo más fiables posibles. Y posteriormente se realiza una comparación con los datos recogidos en la Estación de Meteorología de cada ciudad, ubicadas en las afueras de las mismas.

Por su parte, el trabajo denominado '*Microclimas urbanos en ciudades del centro de Cuba*'. [ÁLVAREZ LÓPEZ, A.E.; 2004] tuvo como objetivo la necesidad en ciudades del centro de Cuba, particularmente en la provincia de Villa Clara, de un estudio ambiental, que en interrelación con las tareas de planeamiento y diseño urbanístico arquitectónico, proporcionen elementos más precisos para la toma de decisiones y criterios en las acciones de planes parciales, rehabilitación e inserción que se realicen dentro de las mismas. Se analizan los problemas de la isla de calor urbana, se definen las variables y parámetros que influyen sobre las condiciones microclimáticas térmicas, y también, los mapas térmicos y otros de interés para el planeamiento y diseño urbanístico, todo a través de SIG.

Las ciudades estudiadas fueron Santa Clara, capital provincial, Sagua la Grande, Caibarien y Placetas, todas cabeceras municipales. Se realiza en ellas un proceso de mediciones in situ para valores de temperatura, humedad relativa y velocidad del viento en diferentes puntos, durante los meses de verano e invierno. Para ello, se elige cierta cantidad de puntos (con separaciones entre 250 y 500 metros) representativos dentro de la zona a analizar, con características de espacios abiertos, no cercanos a edificaciones que apantallan el lugar, donde se pueden

lograr datos lo más fiables posibles. Y posteriormente se realiza una comparación con los datos recogidos en la Estación de Meteorología de cada ciudad, ubicadas en las afueras de las mismas.

En sus conclusiones, los autores ponen de manifiesto que, aunque existen diversos estudios sobre las interacciones entre microclima y ordenación urbana, hasta ahora dichos estudios no se han tomado con la profundidad requerida, aunque se comienzan a dar pasos importantes en esa dirección. Y para llegar a engranar las investigaciones de microclimas urbanos y su posible aplicación, los instrumentos que pueden conseguirlo son los Planes Generales y Parciales, de influencia de factores climáticos en la planificación, más allá de lo meramente descriptivo.

2.1.2 Estudios realizados en Europa

El primer estudio es relativamente temprano y se verificó en la ciudad de Londres [HOWARD, L.; 1818]. Estudios posteriores en París y en Viena confirmaron el mismo fenómeno, que en 1958 fue denominado por Manley "*isla urbana de calor*" [MANLEY, G.; 1958]. Inmediatamente se observó también que la diferencia térmica llevaba aparejada una diferencia de humedad, en sentido inverso.

El descubrimiento de este doble fenómeno climático, junto con la publicación de los primeros trabajos generales sobre el clima urbano, así como la celebración en 1968 de un Symposium internacional sobre climas urbanos, promovido por la World Meteorological Organization [W.M.O., 1970], impulsaron las investigaciones de climatología urbana de base local, centradas, sobre todo, en el reconocimiento de la isla de

calor en distintas ciudades, estudios que eran de metodología relativamente fácil.

Hoy puede decirse que la mayoría de las metrópolis mundiales cuenta con estudios climáticos a dos niveles de análisis; uno, inicial con carácter meramente aproximativo y descriptivo, y otro, más reciente, de mayor profundización, en el que se analiza el clima urbano en su complejidad de implicaciones climáticas y urbanísticas, y se desarrolla el concepto de microclima. [Comisión de las Comunidades Europeas, 1990] [COHEN, P.; 2001] [COUCH, C.; 2011] [ELIASSON, I.; 2007] [GABRIEL, K.M.; 2001] [K.A. and FINSTER, M.; 1999] [HASSID, S.; 2000] [LOMBARDI, D. R.; 2001] [SASSEN, S.; 2001] [SUÁREZ, E.; 1993] [TAHA, H.; 2000] [THORSSON, S.; 2004] [TUMINI, I. AND E. HIGUERAS; 2011].

Respecto al método, se tiene en cuenta que para poder constatar con claridad la existencia de diferencias microclimáticas dentro de la ciudad, no es suficiente contar con las observaciones procedentes de los observatorios meteorológicos convencionales, ya que la finalidad principal de éstos es muy distinta en un orden de escala espacial y, por lo tanto, sus datos solo pueden servir como referencia. De modo que es necesario realizar la observación directa de los elementos climáticos, mediante la toma sistemática de medidas meteorológicas sobre el terreno.

Este procedimiento, muy usual actualmente, supuso un avance decisivo en el estudio del clima de las ciudades, siendo utilizado por vez primera, al parecer, por Schmidt en 1917 [SCHIMDT, W.; 1917], en la ciudad de Viena, introduciendo una nueva técnica que, a lo largo de todos estos años, se ha revelado como un instrumento verdaderamente útil y eficaz

para el estudio de las diferencias térmicas observadas dentro de las ciudades.

En Europa, como se ha comentado anteriormente, la ciudad de Londres fue la primera en atraer la atención de este tipo de investigaciones, ya desde principios del siglo XIX [HOWARD L.; 1818], y se ha constituido en ejemplo paradigmático del fenómeno de la isla de calor y de los estudios de microclima urbano [CHANDLER, T.J.; 1962-64].

Sin embargo, no han sido precisamente las ciudades europeas las más estudiadas, a excepción de las británicas, donde el estímulo de los trabajos de Chandler generaron escuela en el último cuarto del siglo XX, entre los que cabe destacar los realizados en las ciudades de Plymouth [MILLWARD, G.E.; 1976], Birmingham [UNWIND, J.; 1980] [JOHNSON, D.B.; 1985], Londres [GRAY, K. A.; 2000] [Greater London Authority, 2006] [KOLOKOTRONI, M. and GIRIDHARAN, R; 2008]

Sobre otras ciudades europeas pueden señalarse los estudios sobre el clima de París [DETTWILLER, J.; 1970] [ESCOURROU, G.; 1986], de Roma COLACINO, M.; 1978, 1980, 1982], de Utrecht [VAN DIJK, W.; 1980], de Cracovia [MORAWSKA-HORAWSKA Y CEBULAK, 1981] o de Viena [BERNHOFER, C.; 1984].

No obstante, en los últimos años, se han realizado estudios pioneros financiados con fondos europeos en algunas ciudades noroccidentales con el objetivo de que sus resultados se tengan en cuenta para perfeccionar la planificación urbana, elaborar normas y herramientas de diseño urbano, entre los que cabe destacar los realizados sobre las ciudades de Róterdam y Arnhem (Países Bajos) y Atenas (Grecia) [CHATZIDIMITRIOU, A.; 2004] [FUTURE CITIES PROGRAM; 2009]

El proyecto comunitario 'Future Cities' se trata de un programa de investigaciones en ciudades europeas dedicado a mitigar y adaptarse a las temperaturas cada vez más altas de las ciudades. El programa Future Cities recibe fondos del programa comunitario Interreg IVB NWE (Europa noroccidental). El objetivo, ayudar a las ciudades de Europa noroccidental a que sean capaces de superar los efectos previstos del cambio climático (por ejemplo la detección de microclimas urbanos, la intensificación de las islas de calor urbanas y las riadas) mediante la transformación proactiva de las estructuras urbanas. Entre los participantes se encuentran los ayuntamientos de Tiel, Arnhem y Nijmegen (Países Bajos), Hastings (Reino Unido), la Provincia de Flandes Occidental (Bélgica), las agencias del agua alemanas y Rouen-Seine Aménagement (Francia).

La metodología del estudio consistió en la toma de mediciones directas en diversos puntos de las ciudades durante un periodo de 24 horas mediante sensores instalados en dos bicicletas adaptadas. Se midieron la temperatura, humedad, dirección y velocidad del viento y la cantidad de luz solar e intercambio de calor y radiación. Las mediciones se realizaron cada segundo y se tomaron fotografías a intervalos fijos durante la ruta mediante una cámara situada a 50 cm sobre el suelo, lo que permitió calcular la cantidad de suelo oscurecido por edificios o vegetación.

Estos trabajos sacaron a relucir una diferencia de temperatura nocturna de 7 °C entre la ciudad de Róterdam y las afueras situadas más allá del aeropuerto. Los resultados del estudio realizado en Arnhem fueron similares.

El objetivo final de estos investigadores es que sus datos y conclusiones sean de utilidad para elaborar normas y herramientas de diseño que sirvan para que los encargados de urbanismo mitiguen los efectos del cambio climático en las diferencias climáticas a escala local que soportan las ciudades.

Por otra parte, la ciudad de Atenas [HASSID, S.; 2000] y sus alrededores se sometieron a estudio desde el cielo mediante satélites y dos aviones en los que se instalaron equipos de medición. Un avión español, dotado de un instrumento denominado 'espectrómetro de imágenes hiperespectrales' y sensible tanto a la luz visible como a longitudes de onda térmicas infrarrojas, participó en dichas tareas. Un avión griego midió la temperatura, presión, humedad relativa y turbulencia del aire. También satélites, entre los que se incluyen dos satélites de la Agencia Espacial Europea, aportaron más datos de interés. Se efectuaron además, desde el suelo, mediciones atmosféricas y radiométricas, gracias a un grupo de expertos en clima urbano y teledetección.

La intención de la investigación es que los resultados finales les puedan ayudar a mejorar las evaluaciones de las islas de calor urbanas, desarrollar técnicas de predicción de olas de calor urbanas, mejorar los sistemas de alerta y perfeccionar la planificación urbana al señalar zonas metropolitanas en las que el efecto es menos intenso.

Otros ejemplos destacables serían los estudios realizados en Monte Carlo [DEUTSCHMANN, T.; 2011] [HAY, T. D.; 2012] Chania [GEORGI, J.N.; 2010] y estudios generales sobre climas europeos [FIORETTI, R.; 2010] [FORD, B.; 2007] [LYKLOUDIS, M.; 2007]

2.1.3 Estudios realizados en el caso concreto de España

“En España, este tipo de estudios han sido muy escasos. Los investigadores del CSIC de Madrid han intentado cubrir esta laguna con una primera publicación pionera [LÓPEZ GÓMEZ, 1988]. Posteriormente, se han realizado algunas investigaciones similares en otras ciudades españolas, tales como, Barcelona [CARRERAS, C.; 1990], Logroño (ORTIGOSA IZQUIERDO; 1998), Madrid [CIEMAT, 2008], Bilbao [CARRERAS, C.; 1975], Teruel [CUADRAT, J.M.; 1993] [EVE, 2006]

El trabajo que se presenta se inserta dentro de este mismo esfuerzo, pero además pretende dar un golpe de rigor para que a partir de los resultados obtenidos se empiece a reflexionar sobre las repercusiones de incluir las condiciones microclimáticas en las Normativas Urbanísticas y/o de Eficiencia Energética.

En esta dirección en España se han realizado algunos trabajos, si bien el grado de pormenorización ha sido menor. Como ejemplo de todo esto encontramos el estudio de: *‘Detección y medición de la isla de calor en Madrid’* [LÓPEZ GÓMEZ, J.; 1988]. Este es el primer estudio realizado en España, llevado a cabo por el departamento de Geografía de la Universidad Autónoma de Madrid para la detección y medición de la isla de calor en Madrid.

El trabajo consistió en la toma de mediciones directas llevadas a cabo durante varios años, a lo largo de tres recorridos fijos que cortan la ciudad en sus ejes norte-sur (de Alcobendas a Getafe), noreste-suroeste (desde el río Jarama hasta Alcorcón) y noroeste-sureste (de Aravaca a Vallecas). Se realizaron en diferentes situaciones atmosféricas y horarias (mañana, tarde, medianoche y madrugada), y permitieron constatar las peculiaridades microclimáticas de la ciudad de Madrid. (Fig. 1 Eje

urbano NW-SE y NS de Madrid [LÓPEZ GÓMEZ, J.; 1988] y Fig. 2 Mapa de la observación del Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) relativo a las temperaturas de un área de Madrid, en la noche. Zona: Paseo de la Castellana. Imagen: 1 julio 2008 [LÓPEZ GÓMEZ, J.; 1988]).



Fig. 1 Eje urbano NW-SE y NS de Madrid [LÓPEZ GÓMEZ, J.; 1988]

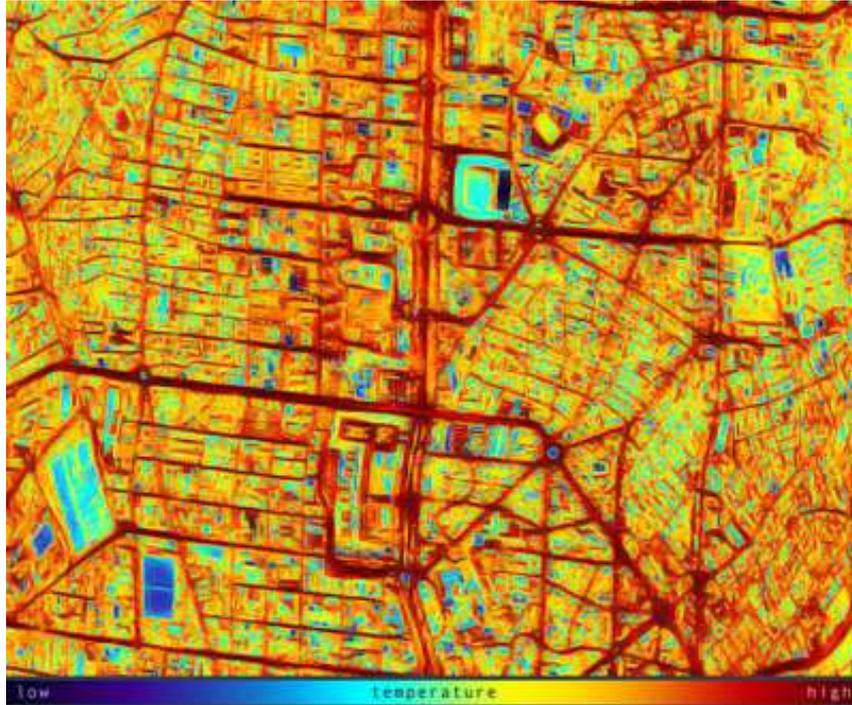


Fig. 2 Mapa de la observación del Airborne Hyperspectral Scanner (AHS) relativo a las temperaturas de un área de Madrid, en la noche. Zona: Paseo de la Castellana.

Imagen: 1 julio 2008 [LÓPEZ GÓMEZ, J.; 1988]

Considerando el trabajo denominado *‘Modificaciones térmicas en las ciudades. Avance sobre la Isla de Calor en Barcelona’* [CARRERAS, C.; 1990], puede comprobarse que trata del primer estudio empírico sobre la isla de calor en la ciudad de Barcelona, y en el que se detecta la existencia de microclimas urbanos. La metodología del trabajo se basa en la toma de observaciones de campo, semanalmente, durante los años 1985 a 1987, a lo largo de cinco recorridos, previamente establecidos, a través del área metropolitana de Barcelona. Tras la contrastación de los datos meteorológicos convencionales, el estudio de las situaciones atmosféricas y el análisis de algunas imágenes de satélite, se llega a la conclusión de la existencia de una importante isla de calor en Barcelona, de 6,9 °C de intensidad máxima y de configuración y localización variables, lo que define además, una zonificación a nivel microclimático.

Otro trabajo, más reciente, fue *‘El Microclima urbano de Logroño en Invierno’* [ORTIGOSA IZQUIERDO, 1998]. En esta investigación se procede al estudio del comportamiento higratérmico invernal en la ciudad de Logroño (ciudad de tamaño medio), a partir de muestreos en trayectos preseleccionados en diferentes días y horas. El análisis de los datos les permitía cuantificar la intensidad de la isla de calor en el centro urbano, cuya diferencia térmica con el entorno urbano no excede nunca los 3 °C (promedio de 1,7 °C).

El método usado fue la toma de mediciones in situ mediante trayectos urbanos durante el invierno de 1996. Se realizaron tres trazados diferentes, con mediciones 3 veces al día (7-8 de la mañana, 2-3 de la tarde y 10-11 de la noche), tomando la cantidad de 21 muestreos en cada sesión.

Por su parte, La universidad de Valencia dentro *‘Campaña DESIREX’* (Dual-use European Security IR Experiment 2008), [DESIREX, 2008], llevó a cabo, del 23 de junio al 12 de julio, financiada por la Agencia Espacial Europea (ESA) con el objetivo de realizar medidas en la ciudad de Madrid para caracterizar los procesos de calentamiento/enfriamiento de las zonas urbanas y detectar el efecto de isla de calor.

En la campaña DESIREX se combinaron medidas a bordo de un avión con medidas in situ, con la finalidad de generar una base de datos representativa para el estudio del efecto de isla térmica y de la termografía urbana. Durante el periodo de la investigación, aviones del Instituto Nacional de Técnica Aeroespacial (INTA) sobrevolaron la ciudad de Madrid tres veces del día (alrededor de salida del sol, del mediodía y de la medianoche), en coincidencia con las medidas realizadas en tierra con coches, por el equipo de investigadores de la

Unidad de Cambio Global con cámaras térmicas y radiómetros térmicos situados en diferentes edificios de la ciudad, pertenecientes al Ayuntamiento de Madrid, al CSIC, a la Universidad Complutense y a la Autónoma de Madrid. También se realizaron medidas con termómetros infrarrojos de precisión montados en plataformas móviles, que recorrerían diferentes itinerarios por las calles de Madrid.

La campaña generó un grupo de datos térmicos representativos para que el equipo del proyecto analizara los requisitos de observación para una mejor valoración y análisis de la isla de calor en Madrid.

Las entidades que colaboraron en el proyecto fueron, además de la Universidad de Valencia, la Universidad Louis Pasteur de Estrasburgo, el Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas (CIEMAT), la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), las Universidades Autónoma y Complutense de Madrid, la Universidad de Vigo y el Centro Tecnológico LBEIN Tecnalia, el Ayuntamiento de Madrid, del Centro Cartográfico y Fotográfico (CECAF) del ejército del Aire y de Aeropuertos Españoles y Navegación.

En estudios ya muy recientes, podemos encontrar los realizados por Tecnalia y en colaboración con la Universidad de Kassel, Alemania (*‘Evaluación de la Isla de Calor de Bilbao’* [TECNALIA, 2011]), se realizaron varias campañas de mediciones in situ con dispositivos móviles y fijos. La primera, durante 3 días de Agosto de 2009, la segunda, en los meses de Mayo-Julio de 2010, y una tercera durante varios días del mes de Agosto de 2010. La metodología utilizada consistía en evaluar 2 itinerarios simultáneamente con tomas de medición a nivel del suelo cada 5 minutos, de las variables atmosféricas como la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento y la presión

atmosférica. Se han obtenido datos diferenciales de temperatura entre distintas zonas de la ciudad de entre 1-2 °C.

Con esta actividad, los autores del trabajo detectaron, lo que denominaron diferencias microescalares dentro de una misma ciudad. Con lo que proponen la posibilidad, más que evidente, de realizar una Clasificación de Bilbao en diferentes zonas climáticas, realizando además un mapa de clima urbano de Bilbao que sirva para futuras planificaciones y diseño urbano, como plantearse la necesidad de incluir nueva legislación de clima urbano.

Hoy en día existen algunos estudios recientes sobre la ciudad de Madrid [TUMINI, I.; 2012] y algunos presentan resultados ciertamente reveladores en los que se manejan ahorros de energía de en torno al 5% en calefacción y de hasta el 40% en refrigeración [NÚÑEZ, M.; 2016]

2.1.4 Entorno normativo existente de acuerdo a criterios energéticos

En relación a la inclusión en las Normativas Urbanísticas y/o Térmicas o de Eficiencia Energética, de los resultados obtenidos en las diversas investigaciones existentes que, como hemos descrito se han realizado en todo el mundo, se concluye que no se han tenido en cuenta cuestiones de zonificación climática dentro de una ciudad o provincia, sino que las clasificaciones existentes son más amplias abarcando normalmente regiones, ciudades o municipios, en el caso de las más rigurosas.

En los Estados Unidos de América, las Normas ASHRAE [ASHRAE, 2014] conocidas por su exigencia y rigor en materia de Energía, contemplan una división climática por Estados y dentro de ellos una clasificación por

ciudades. Se establece una división en 8 zonas climáticas (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8), combinadas con tres zonas según la proximidad al mar (A, B, C) para en los EEUU y Canadá. (Fig. 3. Localización de las zonas climáticas de Estados Unidos <https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/maps/us-climate-regions.php>)

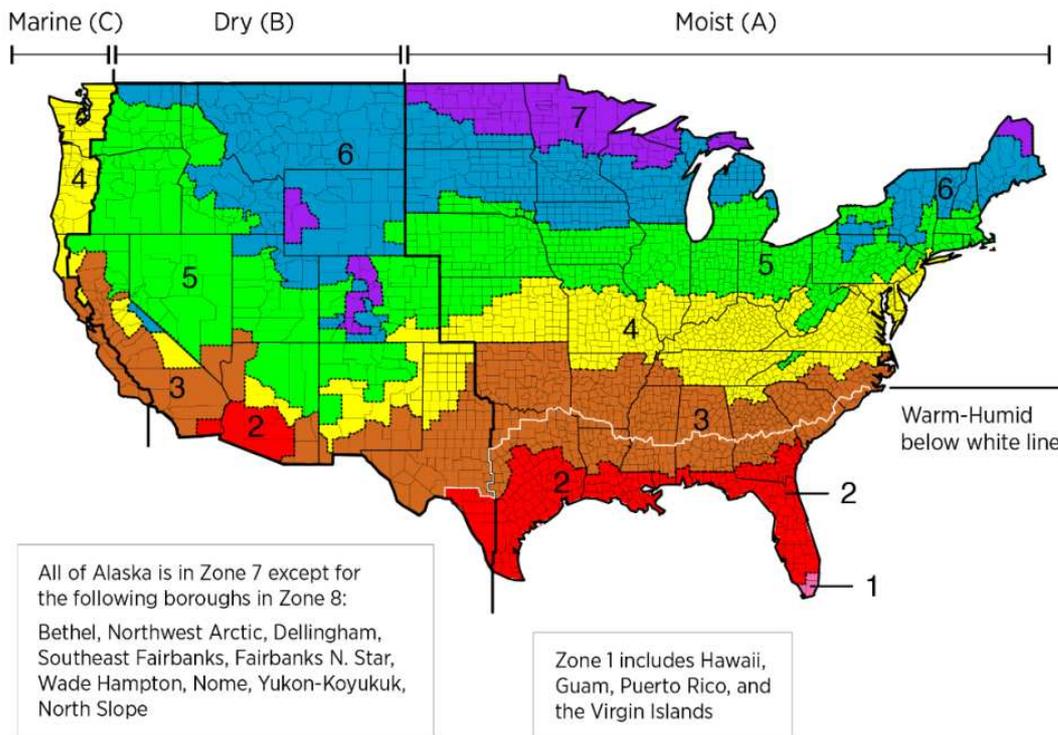


Fig 3. Localización de las zonas climáticas de Estados Unidos.
<https://www.ncdc.noaa.gov/monitoring-references/maps/us-climate-regions.php>

En América Latina destacamos la Normativa Térmica de Argentina (IRAM) (Fig. 4 Clasificación de zonas climáticas Norma IRAM 11603 Argentina [INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN, 1996]) la cual tampoco contiene una clasificación climática rigurosa del país, pero sí describe el concepto de microclima e incluye consideraciones generales sobre microclimas y una evaluación de los microclimas existentes dentro de cada zona ambiental, a niveles muy generales.

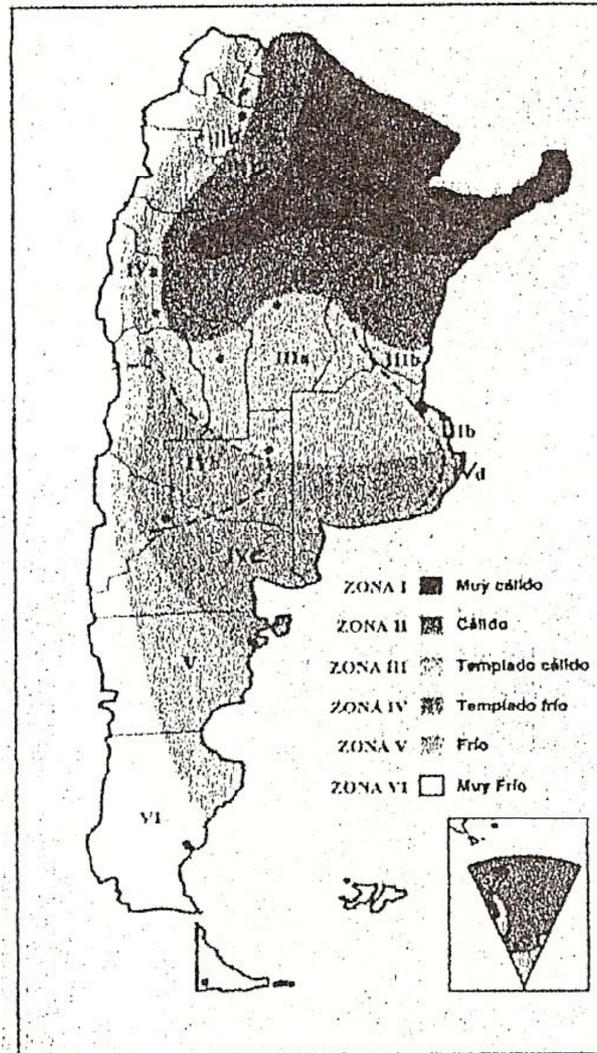


Fig 4. Clasificación de zonas climáticas Norma IRAM 11603 Argentina [INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN, 1996]

Se establece una clasificación en 6 zonas bioambientales, a su vez divididas en subzonas (I, II; IIa, IIb, III, IV; IVa, IVb, IVc, IVd, V, VI). Normativa completa en Archivo adjunto "IRAM 11603".

En Europa, es de destacar por ejemplo la Normativa Térmica Francesa (RT 2012) [Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012], que establece una clasificación en 8 zonas climáticas correspondientes a las regiones del país (H1a, H1b, H1c, H2a, H2b, H2c, H2d, H3).



Fig 5. Zonas climáticas Anexo 1 RT francesa [Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement, 2012],

2.2 Conceptos teóricos y metodología de cálculo de cargas térmicas en los edificios

Se definirán aquí aquellos conceptos básicos y métodos de cálculo de cargas térmicas en los edificios que la ASHRAE [ASHRAE, 2014], Sociedad Americana de Ingenieros de Calefacción, Refrigeración y Aire Acondicionado, propone, puesto que son los implementados por los softwares de cálculo empleados en la simulación energética del modelo arquitectónico elegido.

El entorno de estudio elegido se encuentra encuadrado en la ciudad de Madrid y que será tanto el Código Técnico de la Edificación [AENOR, 2009], como el Reglamento de la Instalaciones Térmicas en los Edificios [RITE, 2013] el marco normativo a considerar en el procedimiento de cálculo.

2.2.1 Carga térmica

Se define la carga térmica como la cantidad de energía que se necesita en un área para conservar determinadas condiciones de temperatura y humedad. En este sentido se puede establecer una primera clasificación de las cargas térmicas, según su incidencia [REDONDO RIVERA, O.; 2013]:

- Cargas térmicas sensibles: aquellas que van a originar una variación en la temperatura del aire.
- Cargas térmicas latentes: las que van a originar una variación en la humedad absoluta del ambiente (contenido de agua en el aire).

Por otro lado, el conocimiento de las cargas térmicas es imprescindible, como paso previo para acometer la tarea de diseñar el sistema de acondicionamiento del aire interior de un edificio, dependencia o local, así como para cuantificar el consumo de energía necesario para satisfacer las condiciones mínimas de confort en su interior.

Precisamente en el diseño de un sistema de climatización (calefacción y refrigeración) habrá que calcular las cargas térmicas para las situaciones de diseño de verano y de invierno, dimensionando ambas instalaciones para la situación más desfavorable.

Componentes de la carga térmica

Según la procedencia se pueden distinguir dos grandes grupos de cargas térmicas:

- a) Cargas térmicas procedentes del ambiente exterior del edificio. A su vez, las cargas térmicas externas pueden ser de diversos tipos:
 - Cargas a través de cerramientos.
 - Cargas a través de superficies acristaladas, ventanas y claraboyas.
 - Cargas introducidas a través de la ventilación.
 - Cargas debidas a infiltración.

- b) Cargas térmicas generadas en el interior del edificio. A su vez, las cargas térmicas internas pueden ser de diversos tipos:
 - Cargas generadas por las personas
 - Cargas de iluminación
 - Cargas generadas por equipos eléctricos, informáticos...
 - Otras cargas generadas en el interior.

A la vista de esta clasificación básica es lógico pensar que la mayor incidencia en los consumos de energía de los edificios será la relativa a satisfacer las cargas térmicas procedentes del exterior de los edificios; máxime cuando postulamos por variación de temperatura exterior para un mismo día y punto de medición de 4°C, frente a los valores medios empleados en los cálculos normativos actuales. Se entiende pues que el papel de ese “ ΔT ” se antoja fundamental ante esta nueva situación.

2.2.2 Cálculo de la carga térmica para refrigeración

El cálculo de la carga térmica de refrigeración (Q_r) es necesario para saber la capacidad de refrigeración de los aparatos de aire acondicionado que se deben utilizar, y en última instancia de su potencia eléctrica de consumo.

La carga térmica total de refrigeración (Q_r) de un local se obtiene de la siguiente expresión:

$$Q_r = Q_s + Q_l \quad [2.1]$$

Dónde,

- Q_s es la carga térmica sensible (W);
- Q_l es la carga térmica latente (W).

En los siguientes apartados se expone cómo calcular las cargas térmicas sensible y latente que se transmiten al local, con objeto de sumarlas y obtener de esta forma la carga térmica total.

2.2.3 Cálculo de la carga térmica sensible

Expresión general

Para el cálculo de la carga térmica sensible (Q_s) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sai} \quad [2.2]$$

Dónde,

- Q_{sr} es el valor de la carga sensible debida a la radiación solar a través de las superficies acristaladas (W);
- Q_{str} es la carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (W);
- Q_{st} es la carga sensible por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores (W);
- Q_{si} es la carga sensible transmitida por infiltraciones de aire exterior (W);
- Q_{sai} es la carga sensible debida a aportaciones internas (W).

Por lo tanto, el cálculo de la carga sensible se basa en calcular cada una de las diferentes cargas anteriores y sumarlas, obteniéndose así el valor de la carga sensible total.

Carga por radiación solar a través de cristal " Q_{sr} "

La radiación solar atraviesa las superficies traslúcidas y transparentes e incide sobre las superficies interiores del local, calentándolas, lo que a su vez incrementa la temperatura del ambiente interior. (Fig. 6)

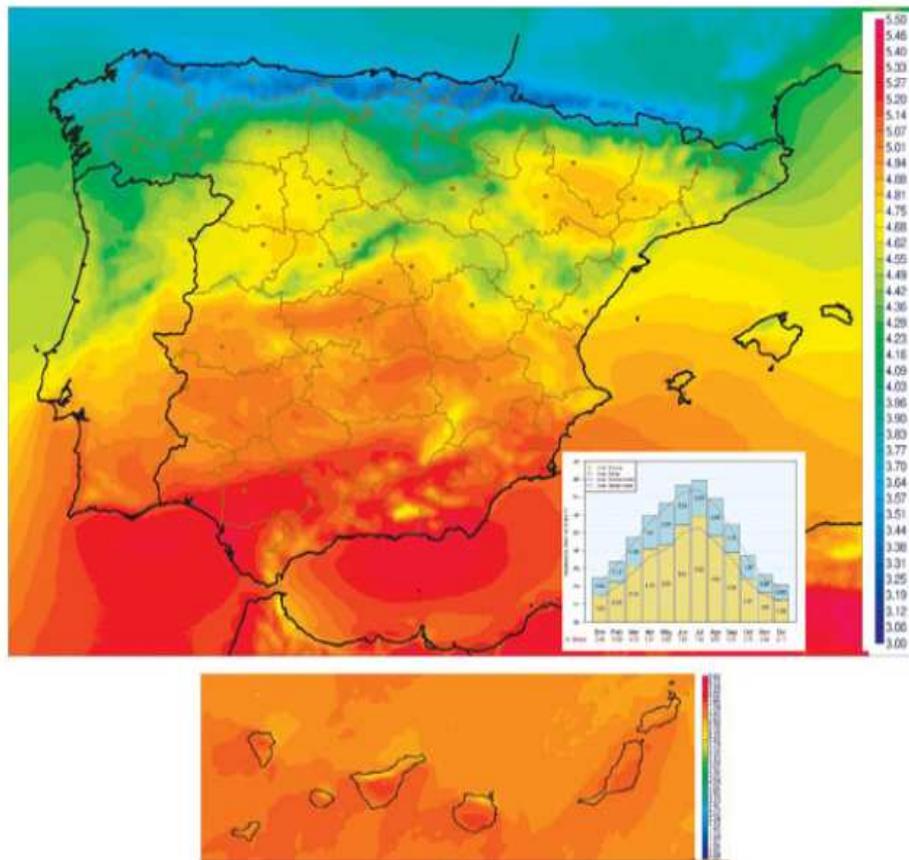


Fig. 6 Atlas de Radiación Solar en España utilizando datos del SAF de clima de EUMETSAT. [AEMET]

La carga térmica por radiación a través de cristales y superficies translúcidas (Q_{sr}) se calcula como sigue:

$$Q_{sr} = S \cdot R \cdot F \quad [2.3]$$

Dónde,

- Q_{sr} es la carga térmica por radiación solar a través de cristal, en W;
- S es la superficie translúcida o acristalada expuesta a la radiación, en m²;

- R es la radiación solar que atraviesa la superficie, en W/m², correspondiente a la orientación, mes y latitud del lugar considerado;
- F es el factor de corrección de la radiación en función del tipo de vidrio empleado en la ventana, efectos de sombras que pueda existir, tal y como se regula en el DB HE 1 del CTE.

Se observa que en este apartado no existe incidencia alguna del incremento de temperatura en el exterior respecto a los valores normados. La radiación solar está tabulada y normada a disposición de consulta.

Carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores "Q_{str}"

La carga por transmisión y radiación que se transmite a través de las paredes y techos opacos que limitan con el exterior (Q_{atr}) se calcula como sigue:

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \quad [2.4]$$

Dónde,

- Q_{str} es la carga por transmisión a través de paredes y techos exteriores, en W;
- K es el coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, expresado en W/m²°C. Prontuario soluciones constructivas CTE;
- S es la superficie del muro expuesta a la diferencia de temperaturas, en m²;
- T_i es la temperatura interior de diseño del local (°C);
- T_{ec} es la temperatura exterior de cálculo al otro lado del local (°C).

Como temperatura interior de diseño (T_i) se pueden tomar los valores de la siguiente tabla, que recoge las condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año:

Tabla 1. Condiciones de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior [RITE, 2013]

Estación del año	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

Por último, para obtener el valor de la temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se parte a su vez de la llamada temperatura exterior de diseño (T_e).

La temperatura exterior de diseño (T_e) se calcula teniendo en cuenta la temperatura media del mes más cálido (T_{me}) y la temperatura máxima del mes más cálido ($T_{máx}$) del lugar [AEMET], a partir de la siguiente expresión:

$$\text{Temperatura exterior de diseño, } T_e = 0,4 \cdot T_{me} + 0,6 \cdot T_{máx}$$

Son precisamente estos datos los que están publicados respecto a períodos "clino" que abarcan las medias ponderadas de las mediciones de los últimos 30 años para una misma zona geográfica donde esté situada la estación meteorológica. Será aquí pues donde se podrán apreciar las variaciones de los incrementos que se han detectado al bajar un escalón en la escala urbana considerada

La temperatura exterior de cálculo (T_{ec}) se calculará finalmente a partir de la temperatura exterior de diseño (T_e) y de la orientación que tenga el cerramiento que se está considerando, a partir de la siguiente tabla:

Tabla 2. Temperatura exterior de cálculo en función de la orientación y elemento constructivo [RITE, 2013]

Orientación	N	S	E	O	Cub.	Suelo	P.Interiores
Temperatura Exterior de Cálculo (T_{ec} en °C)	$0,6.T_e$	T_e	$0,8.T_e$	$0,9.T_e$	T_e+12	$(T_e+15)/2$	$T_e.0,75$

Carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores " Q_{st} "

La carga por transmisión a través de los cerramientos interiores del local que lo limitan con otras estancias del edificio (Q_{st}) se calcula aplicando la expresión siguiente:

$$Q_{st} = K \cdot S \cdot (T_e - T_i) \quad [2.5]$$

Dónde,

- Q_{st} es la carga por transmisión a través de los cerramientos interiores, en W;
- K es el coeficiente global de transmisión térmica del cerramiento, también llamado transmitancia térmica, expresado en W/m²°C. Protuario soluciones constructivas [CTE]);
- S es la superficie del cerramiento interior, en m²;
- T_e es la temperatura de diseño al otro lado del cerramiento (°C);
- T_i es la temperatura interior de diseño del local (°C).

Como temperatura interior de diseño (T_i) se pueden tomar los valores indicados en la anterior, que recoge las condiciones de diseño para la

temperatura y humedad relativa del aire interior, según las estaciones del año. Por último, para elegir la temperatura exterior de diseño (T_e) correspondiente a las estancias del edificio que limitan con el local de cálculo, se tendrá en cuenta los usos dados a estas estancias.

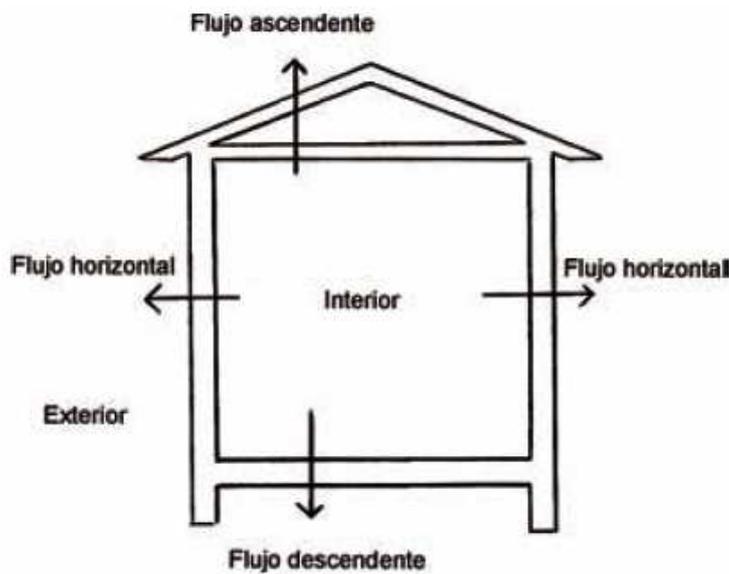


Fig 7. Diagrama dirección pérdidas flujos de calor [RITE, 2013]

Carga transmitida por infiltraciones de aire exterior " Q_{si} "

La carga transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{si}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{si} = V \cdot \rho \cdot C_{e, \text{aire}} \cdot \Delta T \quad [2.6]$$

Dónde,

- Q_{si} es la carga térmica por infiltración y ventilación de aire exterior (W);
- V es el caudal de aire infiltrado y de ventilación (m^3/s);
- P es la densidad del aire, de valor $1,18 \text{ kg}/m^3$;

- $C_{e, \text{aire}}$ es el calor específico del aire, de valor 1012 J/kg°C;
- ΔT es la diferencia de temperaturas entre el ambiente exterior e interior.

De esta manera, una vez obtenido el caudal de ventilación de aire del exterior (explicada su metodología más adelante) que entra en el local y aplicando la formulación anterior se puede obtener la carga térmica debida a ventilación e infiltración.

Carga sensible por aportaciones internas " Q_{sai} "

La ganancia de carga sensible debida a las aportaciones internas del local (Q_{sai}) se determina a su vez como suma de las siguientes tipos de cargas que se generan dentro del mismo:

$$Q_{sai} = Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad [2.7]$$

Dónde,

- Q_{sil} es el valor de la ganancia interna de carga sensible debida a la iluminación interior del local (W);
- Q_{sp} es la ganancia interna de carga sensible debida a los ocupantes del local (W);
- Q_{se} es la ganancia interna de carga sensible debida a los diversos aparatos existentes en el local, como aparatos eléctricos, ordenadores, etc. (W).

Carga sensible por iluminación (Q_{sil}):

Para el cálculo de la carga térmica sensible aportada por la iluminación interior del establecimiento se considerará que la potencia íntegra de las lámparas de iluminación se transformará en calor sensible. En el caso de las lámparas de tipo fluorescente o de descarga se multiplicará la potencia total de todas las lámparas por 1,25 para considerar el consumo complementario de las reactancias.

- Lámparas incandescentes:

$$Q_{sil, incandescente} = n \cdot Pot_{Lámp. Incandescente} \quad [2.8]$$

Dónde,

- n el número de lámparas de tipo incandescentes colocadas.

- Lámparas de descarga o fluorescentes:

$$Q_{sil, descarga} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{Lámp. descarga} \quad [2.9]$$

Dónde,

- n el número de lámparas fluorescentes colocadas.

La ganancia de carga sensible por iluminación se obtendrá como la suma de las anteriores:

$$Q_{sil} = Q_{sil, incandescente} + Q_{sil, descarga} \quad [2.10]$$

Carga sensible por ocupantes (Q_{sp}):

Para calcular la carga sensible que aporta cada persona (Q_{sp}), es necesario conocer previamente las distintas cargas térmicas que origina:

- Radiación: debido a que la temperatura media del cuerpo es superior a la de los objetos que le rodean.
- Convección: ya que la superficie de la piel se encuentra a mayor temperatura que el aire que la rodea, creándose pequeñas corrientes de convección que aportan calor al aire.
- Conducción: originada a partir del contacto del cuerpo con otros elementos que le rodeen.
- Respiración: lo que origina un aporte de calor por el aire exhalado, que se encuentra a mayor temperatura. Aquí se produce también un aporte de vapor de agua que aumentará la humedad relativa del aire.
- Evaporación cutánea: este aporte de calor puede ser importante en verano.

La carga por ocupación tiene, por tanto, una componente sensible y otra latente, debido ésta última tanto a la respiración como a la transpiración. En ambos casos habrá que tener en cuenta el número de ocupantes de la estancia.

En la tabla siguiente se indican los valores de calor latente y sensible, en kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local:

Tabla 3. Calor latente y sensible en función de la actividad realizada y temperatura ambiente interior de local [RITE, 2013]

ACTIVIDAD REALIZADA	28°C		27°C		26°C		24°C	
	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente	Sensible	Latente
Reposo	45	45	50	40	55	35	60	30
Trabajo ligero	45	55	50	50	55	45	60	40
Activ. ligera	45	70	50	65	55	60	60	50
Pers. de pie	45	70	50	75	55	70	65	60
Pers. pasea	45	80	50	75	55	70	65	60
Trab. Sedent.	50	90	55	85	60	80	70	70
Trabajo ligero	50	140	55	135	60	130	75	115
Pers. camina	55	160	60	155	70	145	85	130
Pers. baila	70	185	75	175	85	170	95	155
Pers. trabaja	15	250	120	250	125	245	130	230

La expresión para obtener el calor sensible de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{sp} = n \cdot C_{\text{sensible, persona}} \quad [2.11]$$

Dónde,

- n es el número de personas que se espera que ocupen el local;
- $C_{\text{sensible, persona}}$ es el calor sensible por persona y actividad que realice, según la tabla anterior.

Carga sensible por aparatos eléctricos (Q_{se}):

Para el cálculo de la carga térmica aportada por la maquinaria, equipos y demás electrodomésticos presentes en el espacio climatizado del local se considerará que la potencia integrada de funcionamiento de las máquinas y equipos presente en ese recinto se transformará en calor sensible.

Por otro lado, todos los equipos y electrodomésticos se considera que no funcionarán todos a la vez, por lo que se le afectará de un coeficiente de simultaneidad del 0,75 a la suma obtenida de todas las potencias.

Carga sensible total "Q_s"

La carga sensible total (Q_s) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_s = Q_{sr} + Q_{str} + Q_{st} + Q_{si} + Q_{sil} + Q_{sp} + Q_{se} \quad [2.12]$$

Dónde:

- Q_{sr} es la carga por radiación solar a través de cristal;
- Q_{srt} es la carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores;
- Q_{st} es la carga por transmisión a través de paredes, techos, suelos y puertas interiores;
- Q_{si} es la carga transmitida por infiltraciones de aire exterior;
- Q_{sil} es la carga sensible por iluminación;
- Q_{sp} es la carga sensible por ocupantes;
- Q_{se} es la carga sensible por aparatos eléctricos.

2.2.4 Cálculo de la carga térmica latente

Para el cálculo de la carga térmica latente (Q_l) se emplea la siguiente expresión:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp} \quad [2.13]$$

Donde,

- Q_{li} es la carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior (W);
- Q_{lp} es la carga latente debida a la ocupación del local (W).

Por lo tanto, el cálculo de la carga latente se basa en calcular cada una de las diferentes cargas anteriores y sumarmas, obteniéndose así el valor de la carga latente total. Y esto es precisamente lo que se va a realizar en los próximos apartados.

Carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior " Q_{li} "

La carga latente transmitida por infiltraciones y ventilación de aire exterior (Q_{li}) se determina mediante la siguiente expresión:

$$Q_{li} = V \cdot \rho \cdot C_{l, \text{agua}} \cdot \Delta w \quad [2.14]$$

Donde,

- Q_{li} es la carga térmica latente por ventilación de aire exterior (W);
- V es el caudal de aire infiltrado y ventilación (m³/s);
- ρ es la densidad del aire, de valor 1,18 kg/m³;
- $C_{l, \text{agua}}$ es el calor específico del agua, de valor 2257 kJ/kg;
- Δw es la diferencia de humedad absoluta entre el ambiente exterior e interior.

De esta manera, una vez obtenido el caudal de ventilación de aire del exterior que entra en el local y aplicando la formulación anterior se

puede obtener la carga térmica latente debida a ventilación e infiltración en el local.

Carga latente por ocupación "Q_{lp}"

La carga latente por ocupación del local (Q_{lp}) se determina multiplicando la valoración del calor latente emitido por la persona-tipo y por el número de ocupantes previstos para el local.

Como se ha visto, en la anterior tabla se indican los valores de calor latente y sensible, en kcal/h, desprendido por una persona según la actividad y la temperatura existente en el local.

La expresión para obtener el calor latente de aporte por la ocupación del local sería la siguiente:

$$Q_{lp} = n \cdot C_{\text{latente, persona}} \quad [2.15]$$

Dónde,

- N es el número de personas que se espera que ocupen el local;
- C_{latente, persona} es el calor latente por persona y actividad que realice, según la tabla anterior.

Carga latente total "Q_l"

La carga latente total (Q_l) aportada al local es la suma de todas las anteriores:

$$Q_l = Q_{li} + Q_{lp} \quad [2.16]$$

Dónde,

- Q_{li} es la carga latente transmitida por infiltraciones de aire exterior;
- Q_{lp} es la carga latente por ocupación.

2.2.5 Cálculo ventilación y renovación de aire interior

La renovación del aire interior de las dependencias de un edificio es necesaria e imprescindible (de acuerdo a lo establecido en el Documento Básico DB-HS3 del CTE). Mediante la renovación del aire interior en los edificios se consigue mantener en niveles admisibles, la concentración de contaminantes presentes en el aire, que se genera por el desarrollo de cualquier actividad humana o de otra índole.

Condiciones interiores de diseño de temperatura y humedad

En general, las condiciones interiores de diseño que se tomarán para la temperatura y humedad relativa en el interior de los edificios, que se consideran condiciones de confort, dependerá de factores tales como la actividad metabólica que desarrollen las personas ocupantes del edificio, de su grado de vestimenta y del porcentaje estimado de personas insatisfechas que se admita que pueda haber [WANG, X. 2008].

En este sentido, para un caso genérico donde las personas ocupantes del edificio desarrollen una actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y de 1 clo en invierno y que el porcentaje de insatisfechos se sitúe entre el 10 y el 15%, se pueden tomar, como condiciones interiores de diseño para la temperatura y humedad relativa del aire interior, las que se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 4. Temperaturas interiores de diseño [RITE, 2013]

Estación del año	Temperatura (°C)	Humedad Relativa (%)
Verano	23...25	45...60
Invierno	21...23	40...50

El met se emplea como una unidad de medida de la tasa de actividad metabólica. En concreto 1 met se define como el metabolismo de una persona sentada y sin una actividad física especial. Su equivalencia con otras unidades es:

$$1 \text{ met} = 58,15 \text{ W/m}^2 = 50 \text{ kcal/h} \cdot \text{m}^2 \text{ [FERNANDO, R.; 1980]}$$

Como se puede apreciar el met no es una unidad absoluta de la actividad metabólica, sino una unidad de tasa metabólica (más bien de potencia térmica) relativa a la superficie de piel de nuestro cuerpo (S_C).

Para obtener la producción metabólica de una persona habría que multiplicar el valor_{met} que corresponde a la actividad física que esté realizando por su superficie corporal de la persona (S_C).

$$\text{Producción metabólica} = \text{valor}_{\text{met}} \cdot S_C \quad [2.17]$$

Dónde,

- Valor_{met} es valor metabólico que corresponde a la actividad física que esté realizando la persona;
- S_C es la superficie corporal de la persona. Como superficie corporal de una persona se puede tomar como valor genérico 1,8 m², aunque este valor varía de una persona a otra en función de su altura (H) y peso (P). Para mayor aproximación de cálculo de la superficie corporal de una persona se puede emplear la ecuación de DuBois&DuBois, a partir de la altura (H) y el peso (P):
 $S_C = 0,202 \cdot P^{0,725} \cdot H^{0,725}$.

Tabla 5. Clasificación del metabolismo por tipo de actividad [INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 1999]

Clase	W/m2
Reposo	65
Metabolismo ligero	100
Metabolismo moderado	165
Metabolismo elevado	230
Metabolismo muy elevado	290

El clo se emplea para medir el aislamiento térmico de la ropa. La siguiente tabla puede orientar sobre su rango de valores:

Tabla 6. Clasificación del aislamiento en función del tipo de ropa [INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO, 1999]

Tipo de ropa	Aislamiento (clo.)
Desnudo	0 clo.
Ropa ligera (ropa de verano)	0,5 clo.
Ropa media (traje completo)	1 clo.
Ropa pesada (uniforme militar de invierno)	1,5 clo.

- Categorías de calidad de aire interior

En España el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [RITE, 2013] establece distintas categorías en la calidad de aire interior (IDA) exigibles a los edificios en función del uso que se haga de ellos, a saber:

- IDA 1: es la categoría de calidad óptima del aire. Se exige en edificios de uso muy sensibles, tales como, hospitales, clínicas, laboratorios y guarderías.
- IDA 2: significa una calidad de aire buena. Se suele exigir esta calidad de aire para oficinas, salas comunes de hoteles y

similares, residencias de ancianos y estudiantes, salas de lectura, bibliotecas, museos, salas de tribunales, colegios y aulas de enseñanzas, piscinas cubiertas.

- IDA 3: o calidad de aire media. Tipo de aire válido para el grueso de edificios, tales como, edificios comerciales, cines, teatros, salones de actos y representaciones, habitaciones de hoteles, hostales y pensiones, restaurantes, cafeterías, bares, salas de fiestas, gimnasios, establecimientos deportivos (salvo piscinas), salas para uso de ordenadores.
- IDA 4: corresponde a un tipo de aire de calidad baja. Para el resto de edificios no mencionados anteriormente.

Caudal mínimo de aire exterior de ventilación.

Una vez establecido la calidad de aire interior, hay que establecer el caudal mínimo de aire exterior de ventilación que garantice que se va a alcanzar dicha calidad. Este aporte de aire limpio del exterior es lo que se conoce también por renovación o ventilación del aire contenido en el interior del edificio.

Para saber el número de renovaciones necesarias o caudales de aporte de aire exterior, hay que partir del uso a que se va a destinar el edificio. En función de este uso, existen multitud de tablas y recomendaciones de bibliografía especializada que indican el número de renovaciones horarias, o bien proporcionan directamente los caudales de aire por persona o metro cuadrado de superficie del edificio o de salas a acondicionar.

Por ejemplo, en la siguiente tabla se indica el número de renovaciones a la hora, para cada tipo de establecimiento o local, según la norma DIN 1946.

Tabla 7. Renovaciones hora necesarias según tipo de establecimiento [RITE, 2013]

Tipo de local		Nº Renovaciones aire por hora
WC, inodoros	Privados	4-5
	Públicos	8-15
Aseos y baños		5-7
Duchas		15-25
Bibliotecas		4-5
Oficinas		4-8
Tintorerías		5-15
Cabinas de pintura		25-50
Garajes y parkings		5
Salas de decapado		5-15
Locales de acumuladores		5-10
Armarios roperos		4-8
Restaurantes y casinos		8-12
Industrias de fundiciones		8-15
Remojos		70-80
Auditorios		6-8
Salas de cine y teatros		5-8
Cocinas	Privadas	15-25
	Públicas	15-30
Aulas		5-7
Laboratorios		8-15
Locales de aerografías		10-20
Obradores de panadería		25-35

Tabla 8. Renovaciones hora necesarias según tipo de establecimiento [RITE, 2013]

Tipo de local		Nº Renov. aire por hora
Talleres	Alta alteración	10-20
	Poca alteración	3-6
Salas de fotocopias		5-7
Cuartos de máquinas		15-25
Talleres de montaje		4-5
Salas de laminación		4-8
Talleres de soldadura		5-15
Piscinas cubiertas		3-4
Despachos de reuniones		6-8
Cámaras blindadas		3-6
Vestuarios		6-8
Gimnasios		4-6
Tiendas y comercios		4-8
Salas de reuniones		5-10
Salas de espera		4-6
Lavanderías		10-20
Habitaciones (hoteles...)		3-8
Iglesias modernas (techos bajos)		1-2
Oficinas de bancos		3-4
Cantinas (de industrias, militares)		4-6
Hospitales		5-6
Discotecas		10-12
Cafés		10-12
Restaurantes de comida rápida		15-18

El cálculo del caudal mínimo requerido de ventilación de aire exterior es inmediato a partir de los datos de renovaciones horas de la tabla anterior.

El caudal Q mínimo de aire exterior se calcula como:

$$Q = V \cdot N \text{ (m}^3\text{/h)} \quad [2.18]$$

Dónde,

- V es el volumen que ocupa el local o establecimiento en m³ (V = AxBxC, siendo A, B, C las dimensiones de largo, ancho y altura del local);
- N es el número de renovaciones por hora extraído de la tabla anterior en función del uso dado al local o edificio.

Otros procedimientos que pueden ser utilizados para el cálculo de los caudales mínimos necesarios de aire exterior de ventilación son los expuestos en el R.I.T.E.

A continuación se exponen algunos de los procedimientos más ampliamente utilizados por proyectistas e instaladores:

El llamado "Método indirecto de caudales de aire exterior por persona" es un procedimiento que se aplica especialmente en locales que tienen una baja producción de contaminantes provenientes de fuentes diferentes del ser humano y en general, cuando no está permitido fumar en el local.

Para ello basta con emplear los valores indicados en la siguiente tabla:

Tabla 9. Caudales de aire exterior en función del tipo de local [RITE, 2013]

Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona	
Categoría del aire interior exigible	dm ³ /s por persona
IDA 1	20
IDA 2	12,5
IDA 3	8
IDA 4	5

Cuando en los locales esté permitido fumar, se debe emplear como caudales de aire exterior, como mínimo, el doble de los valores indicados en la tabla 4 anterior.

El "Método indirecto de caudal de aire por unidad de superficie" es especialmente útil su aplicación en locales y establecimientos de edificios donde la ocupación de personas no es permanente.

De la siguiente tabla se extrae los valores de los caudales de aire exterior por metro cuadrado de superficie del local, según la calidad de aire interior exigida.

Tabla 10. Caudales de aire exterior por persona y unidad de superficie [RITE, 2013]

Caudales de aire exterior, en dm³/s por persona y unidad de superficie	
Categoría del aire exigible	dm ³ /(s · m ²)
IDA 1	No aplicable
IDA 2	0,83
IDA 3	0,55
IDA 4	0,26

Por último, el "Método directo de concentración de CO₂" es aplicable sobretodo en locales con elevada actividad metabólica (salas de fiesta, gimnasios y pabellones deportivos, etc.).

Este método se basa en limitar la concentración de CO₂ en el aire interior, en función de la categoría de aire exigida, mediante la impulsión de aire limpio procedente del exterior. Los valores límites de concentración de CO₂ se indican en la siguiente tabla:

Tabla 11. Concentración de CO₂ máxima admisible en los locales [RITE, 2013]

Concentración de CO₂ máxima admisible en los locales	
Categoría del aire exigible	ppm (*)
IDA 1	350
IDA 2	500
IDA 3	800
IDA 4	1.200

(*) Valores de concentración de CO₂ (en partes por millón en volumen) por encima de la concentración existente en el aire exterior.

Filtrado del aire exterior de ventilación

Es evidente que se hace necesario introducir el aire exterior en el edificio debidamente filtrado, para limitar en lo posible la entrada de partículas y de contaminantes gaseosos que proceden del ambiente exterior.

Precisamente, la calidad del aire procedente del exterior (ODA) [RITE, 2013] puede ser clasificada en niveles, según el siguiente criterio:

- ODA 1: se considera la mejor calidad de aire exterior. Es aire puro que puede contener partículas sólidas (polen por ejemplo) de forma temporal.
- ODA 2: es un aire que posee altas concentraciones de partículas sólidas.
- ODA 3: aire con altas concentraciones de contaminantes gaseosos.
- ODA 4: tipo de aire exterior que tiene altas concentraciones de contaminantes gaseosos y de partículas.
- ODA 5: aire con muy altas concentraciones de contaminantes gaseosos y de partículas.

En la siguiente tabla se indican las clases de filtraciones mínimas exigible al aire de ventilación exterior, en función de la categoría de aire exterior (ODA) y de la calidad de aire interior (IDA) exigible:

Tabla 12. Clases de filtraciones mínimas en función de categoría de aire exterior [RITE, 2013]

	IDA 1	IDA 2	IDA 3	IDA 4
ODA 1	F9	F8	F7	F6
ODA 2	F7/F9	F8	F7	F6
ODA 3	F7/F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 4	F7/F9	F6 / F8	F6 / F7	G4 / F6
ODA 5	F6 / GF / F9 (*)	F6 / GF / F9 (*)	F6 / F7	F6 / F7

(*) Se deberá prever la instalación de un filtro de gas o un filtro químico (GF) situado entre las dos etapas de filtración.

Aire de extracción

Igualmente, el aire de extracción procedente del interior del edificio se clasifica en función del uso de los locales o dependencias del edificio del cual provienen. De esta forma se tienen las siguientes categorías para el aire de extracción:

- AE 1: se corresponde con un aire extraído que tiene un bajo nivel de contaminación. Suelen proceder de locales y dependencias donde las emisiones más importantes de contaminantes proceden de los mismos materiales de construcción y de decoración que constituyen la sala, además de las personas. Evidentemente, son locales donde está prohibido fumar. Ejemplo: oficinas, aulas, salas de reuniones, locales comerciales sin emisiones específicas, espacios de uso público, escaleras y pasillos.
- AE 2: aire extraído con un moderado nivel de contaminación. Proceden de locales ocupados con más contaminantes que la categoría anterior, y además no está prohibido fumar. Ejemplo: restaurantes, habitaciones de hoteles, vestuarios, bares, almacenes.
- AE 3: aire de extracción con alto nivel de contaminación. Procede de locales donde se almacenan o producen productos químicos, donde existe humedad, etc. Ejemplos: Aseos, saunas, cocinas, laboratorios químicos, imprentas.
- AE 4: aire de extracción con muy alto nivel de contaminación. Es aire que contiene sustancias olorosas y contaminantes perjudiciales para la salud a partir de determinadas concentraciones. Ejemplos: extracción de campanas de humos, aparcamientos, locales para el manejo de pinturas, locales donde se guarda lencería y ropa sucia, locales de almacenamiento de residuos de comida, locales de fumadores de uso continuo, laboratorios químicos.

En general, el caudal de aire de extracción de los locales y dependencias será como mínimo de 2 dm³/(s·m²) de superficie en planta del local.

Sólo el aire de extracción con categoría AE 1 y exento de humo de tabaco puede ser retornado a los locales.

El aire con categoría AE 2 puede ser empleado solamente como aire de transferencia hacia locales de servicios, aseos y garajes o parkings.

El aire de las categorías AE 3 y AE 4 no puede ser empleado como aire de recirculación o transferencia. Además, su expulsión al exterior del aire de estas categorías no puede ser común a la expulsión del aire de las categorías AE 1 y AE 2 para evitar la posibilidad de una contaminación cruzada.

Velocidad media del aire permitida en el interior

Para mantener unas condiciones mínimas de confort en los lugares ocupados, la velocidad del aire interior debe mantenerse por debajo de unos niveles, que dependerán de factores como la actividad que desarrollen las personas presentes en el local, su vestimenta, e incluso la temperatura del aire interior.

Para unos valores de la temperatura seca del aire comprendido entre 20 °C y 27 °C, se puede emplear la siguiente expresión que proporciona la velocidad media del aire máxima permitida que asegura unas condiciones de confort:

$$V = \frac{T}{100} - 0,07 \text{ (m/s)} \quad [2.19]$$

Dónde,

- T la temperatura seca del aire del interior del local.

2.2.6 Cálculo de la carga térmica para calefacción

Para el cálculo de la carga térmica en invierno procederemos de forma similar al cálculo para verano, pero de forma más sencilla:

Fijaremos la temperatura exterior de cálculo para la zona, de acuerdo con la tabla de la norma UNE 100-001-84 [RITE, 2013], en la que tomaremos la columna del percentil 99% para hospitales y residencias, y del 07,5% para el resto.

Fijaremos la temperatura interior según el tipo de local, preferentemente con la norma Europea.

Calcularemos la transmisión a través de paredes, ventanas y suelos, con la diferencia de temperaturas interior–exterior. En caso de locales no climatizados, tomaremos la mitad de intervalo. En caso de suelo sobre terreno tomaremos una temperatura de 10° C.

No se consideran cargas por radiación, ni por calor interno de ocupantes ni equipos. Para calcular la carga por ventilación, procederemos igual que en verano y emplearemos también coeficientes de mayoración o seguridad.

2.2.7 Tratamiento de resultados

Una vez obtenidos todos los resultados de cargas térmicas de refrigeración (verano) y de calefacción (invierno) y las de ventilación (para ambas épocas del año), en modelo virtual elegido para las condiciones climáticas normativamente aceptadas, se volverá a simular nuestro modelo con los incrementos de temperatura detectados en las mediciones de campo, valorando así las diferencias de energía demandada.

Retomando la fórmula [2.1] por la que se calcula la carga térmica total de refrigeración (Q_r), se observa que la temperatura exterior del local tiene una incidencia directa sobre el resultado de carga sensible por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (Q_{str}), tanto para cargas de calefacción como de refrigeración:

Atendiendo pues a la fórmula [2.2] se calculará la carga térmica sensible (Q_s)

Dentro de la fórmula [2.3], si se presta atención al sumando referido a la carga por transmisión y radiación a través de paredes y techos exteriores (Q_{str}), se observa que uno de los factores, en concreto el definido por la diferencia de temperatura exterior y la interior ($T_{ec} - T_i$), va a sufrir modificaciones en función del valor que adopte esa "Temperatura exterior del Local" (T_{ec})

$$Q_{str} = K \cdot S \cdot (T_{ec} - T_i) \quad [2.3]$$

En consecuencia, los nuevos valores medios de "Temperatura exterior del local" (T_{ec}), tanto en verano como en invierno y de acuerdo a las mediciones de campo efectuadas, serán los que generarán variaciones

energéticas en el cálculo final de demanda de energía para el edificio objeto de estudio (ya que se presentan sustanciales variaciones de varios grados respecto a la referencia normativa actual).

Así pues, toda diferencia de energía será entendida como un ahorro de la misma, puesto que el diseño a aplicar en la arquitectura que responda a las necesidades de esa parcela perteneciente a esa trama urbana, se verá afectadas por estos nuevos valores de cálculo, mucho más cercanos a la realidad física existente

Capítulo 3: Técnicas Experimentales

Las mediciones de temperatura, humedad relativa y demás datos necesarios para las simulaciones energéticas tomados en los puntos de estudio establecidos, durante un año completo, se han realizado con los siguientes instrumentos:

3.1 Instrumentos de medición empleados

El trabajo de campo de medición de temperaturas se ha realizado con estaciones meteorológicas portátiles KESTREL modelo 5000.

El anemómetro climático de bolsillo Kestrel 5000 permite una medición precisa de las condiciones ambientales más importantes. Gracias a su pequeño tamaño y escaso peso, esta mini-estación meteorológica de bolsillo puede ser empleada en cualquier lugar, lo que la hace ideal para una medición a pie en los puntos precisos considerados para la simulación.

Este medidor capta y registra los siguientes datos:

- Velocidad del viento: Máxima, mínima, media e instantánea.
- Reloj y calendario.
- Temperatura: Máxima, mínima, media e instantánea.
- Sensación térmica: Coteja temperatura ambiente, humedad relativa y velocidad del aire.
- Humedad relativa.
- Punto de rocío.
- Punto de evaporación.
- Presión atmosférica.
- Altitud sobre el nivel del mar.

Como especificaciones técnicas más significativas de la estación podemos destacar:

General:

Actualización de datos en pantalla	Cada segundo.
Desconexión automática	Tras 30 sg. de inactividad.
Memoria	Hasta 250 valores de medición.

Velocidad del viento:

Campos de medición	De 0,3 a 41 m/sg.
Tiempo de reacción	Aproximadamente 1 segundo.
Resolución	0,1 (en pies/ min = 10).
Precisión	± 3 % de la lectura.

Temperatura:

Campo de medición	-29 a +70° C.
Tiempo de reacción	Aprox. 1 minuto.
Wind chill (Temperatura percibida)	Sí.
Resolución (Temp. y wind chill)	0,1 °C.
Precisión (Temp. y wind chill)	±1° C.

Humedad relativa:

Campo de medición	0 a 100 %.
Tiempo de reacción	Aprox. 1 minuto.
Punto de rocío	Sí.
Índice de calor	Sí.
Resolución	0,1 %.
Precisión	± 3 %.

Presión barométrica del aire:

Campo de medición	870 a 1080 hPa/ milibares.
Altura sobre el nivel del mar	Sí.
Resolución	1 hPa.
Precisión	±3 % hPa.



Fig. 8 Estación metereológica portátil Kestrel 5000

De cara a la toma de datos, y posterior generación de la base climática de campo a escala de manzana urbana, se considerarán los siguientes aspectos:

- Cota planimétrica (en metros) [PGOUM, 1997];
- Temperatura (en °C);
- Humedad relativa del aire (en %);
- Velocidad del viento (m/seg);
- Presión barométrica (en hPa);
- Altitud real (en metros).

Serán fundamentales de este listado tanto la temperatura como la humedad relativa del aire, datos a introducir en el software de simulación y esenciales para el cálculo de demanda de energía [GIVONI, B.; 2003]

Para la elaboración de las fichas descriptivas de los puntos de medición, como complemento, se han añadido imágenes termográficas de las fachadas de los edificios en la perpendicular al eje de la calle en el punto de medición en épocas de verano e invierno. Para ello se ha utilizado una cámara termográfica FLIR modelo E60. (Fig. 11)

Las imágenes sobtenidas serán de una resolución de 320x240 pixels, siendo el grado de precisión del 2%. La gama de colores resultante mostrará la diferencia de temperatura existente a una misma hora en fachadas opuestas en el punto de medición, dependiendo si se encuentran en sombra o reciben radiación solar directa.



Fig. 9 Cámara termográfica FLIR E60

3.2 Método utilizado

Una vez sentadas las bases geométricas del modelo en cuestión, el trabajo a realizar radicará en conocer la realidad energética actual del edificio, en cuanto a cargas térmicas del mismo en los períodos del año más desfavorables (invierno y verano). Simularemos el edificio situado en la c/ Alcalá, 308, con las coordenadas $40^{\circ} 25'58''$ N $3^{\circ}38'56''$ O y $\alpha=350^{\circ}$

Una vez conocidos los valores normales y, por llamarles de algún modo, "oficiales" se procederá a simular el mismo edificio en las diferentes ubicaciones y orientaciones propuestas conforme a los nuevos datos climáticos obtenidos. Se es consciente que no será real la comparación de los valores obtenidos en esta simulación con la de las nuevas ubicaciones respondiendo a la base de datos obtenida en el trabajo de campo (esta última es sólo de una año, cuando es necesario para certificar su validez que las medias de temperaturas y demás valores atiendan a períodos clino de los últimos treinta años). Se realizará esta simulación pues de forma "testimonial", ya que lo que de verdad interesa son las comparaciones entre los resultados de las nuevas ubicaciones, no en cuanto a valores se refiere, sino en cuanto a incrementos de temperatura y cargas térmicas

3.3 Software informático de simulación utilizado

Serán varios los programas informáticos empleados para la obtención de las cargas térmicas en los edificios y las demandas de energía de éstos. Se trata de verificar un mismo cálculo con varias herramientas similares para minimizar desviaciones. Se plantea como un método más inmediato frente a las hojas de cálculo que resultarían al aplicar las fórmulas teóricas anteriormente mencionadas.

- CYPE INSTALACIONES versión 2011.d en simulación cargas refrigeración y calefacción en edificios versión estudiante. Cype Ingenieros software para arquitectura, ingeniería y construcción;
- VASARI v2.1 Autodesk en simulación de demandas de energía, conforme a base de datos actual y detección de zonas representativas donde existe probabilidad de variación ostensible de temperatura de medición de acuerdo a la realidad física existente
- VPCLIMA Universidad Politécnica de Valencia cargas de refrigeración y calefacción en edificios y gestión de datos climáticos; Como alternativa al uso inicial de CYPE, con el fin de verificar posibles desviaciones en los cálculos
- METEONORM en generación de datos climáticos; Generación de base climática de cálculo conforme a los datos a introducir en software de cálculo: Temperatura seca y húmeda en verano, oscilación media diaria, temperatura seca en invierno, humedad relativa en invierno y temperatura del terreno.
- ENERGYPLUS V8.0 análisis energético conforme a base climática propia. Obtención de datos energéticos generales conforme a base de datos nueva y al modelo edificatorio existente, sin zonificación ni resultados por planta ni acera de medición.

Capítulo 4: Trabajo experimental

4.1. Elección del entorno de estudio

Dentro de la trama urbana de la ciudad de Madrid, se ha elegido como campo de trabajo una calle emblemática de la misma y, más concretamente, un tramo de 5.332,98 m, de orientación Este-Oeste, comprendido entre la intersección de la vía con el Paseo de la Castellana en la Plaza de Cibeles (punto de referencia 1) y la que se produce más al Este con la calle Arturo Soria (punto de referencia 5) (Figs. 10 y 11)

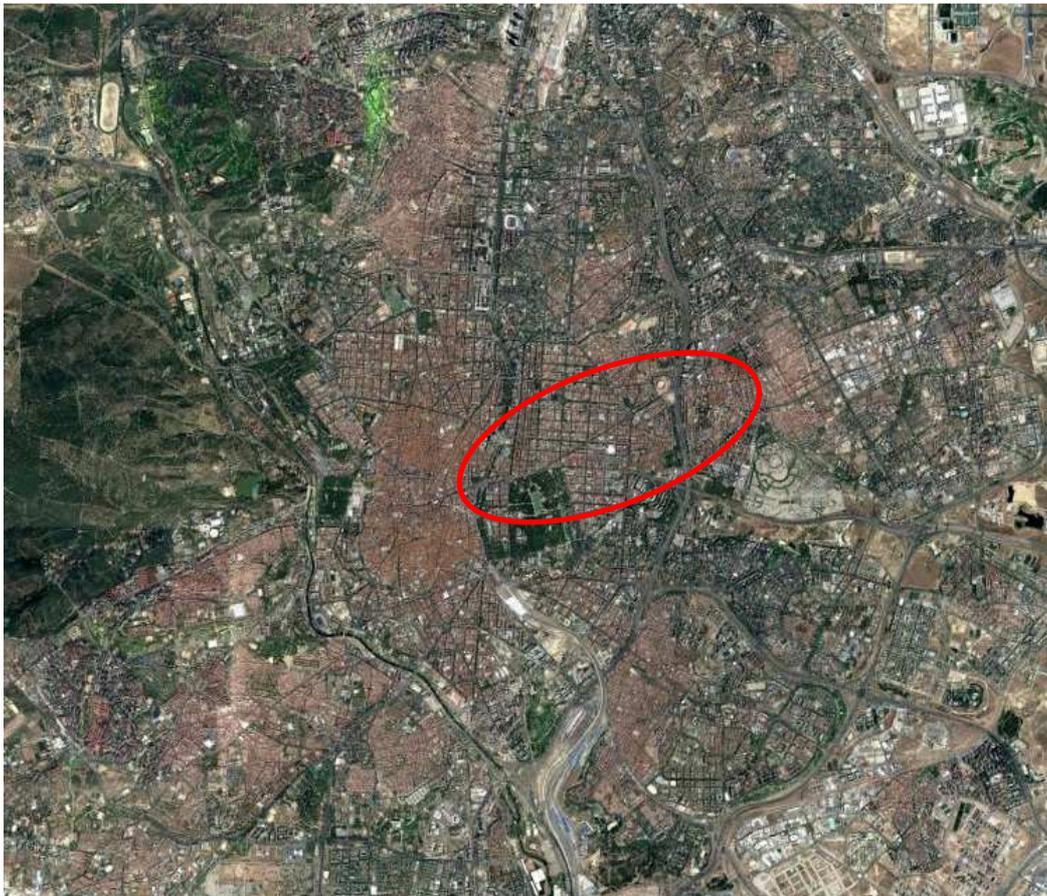


Fig. 10 Imagen localización entorno estudio en área metropolitana Madrid [Google Earth]

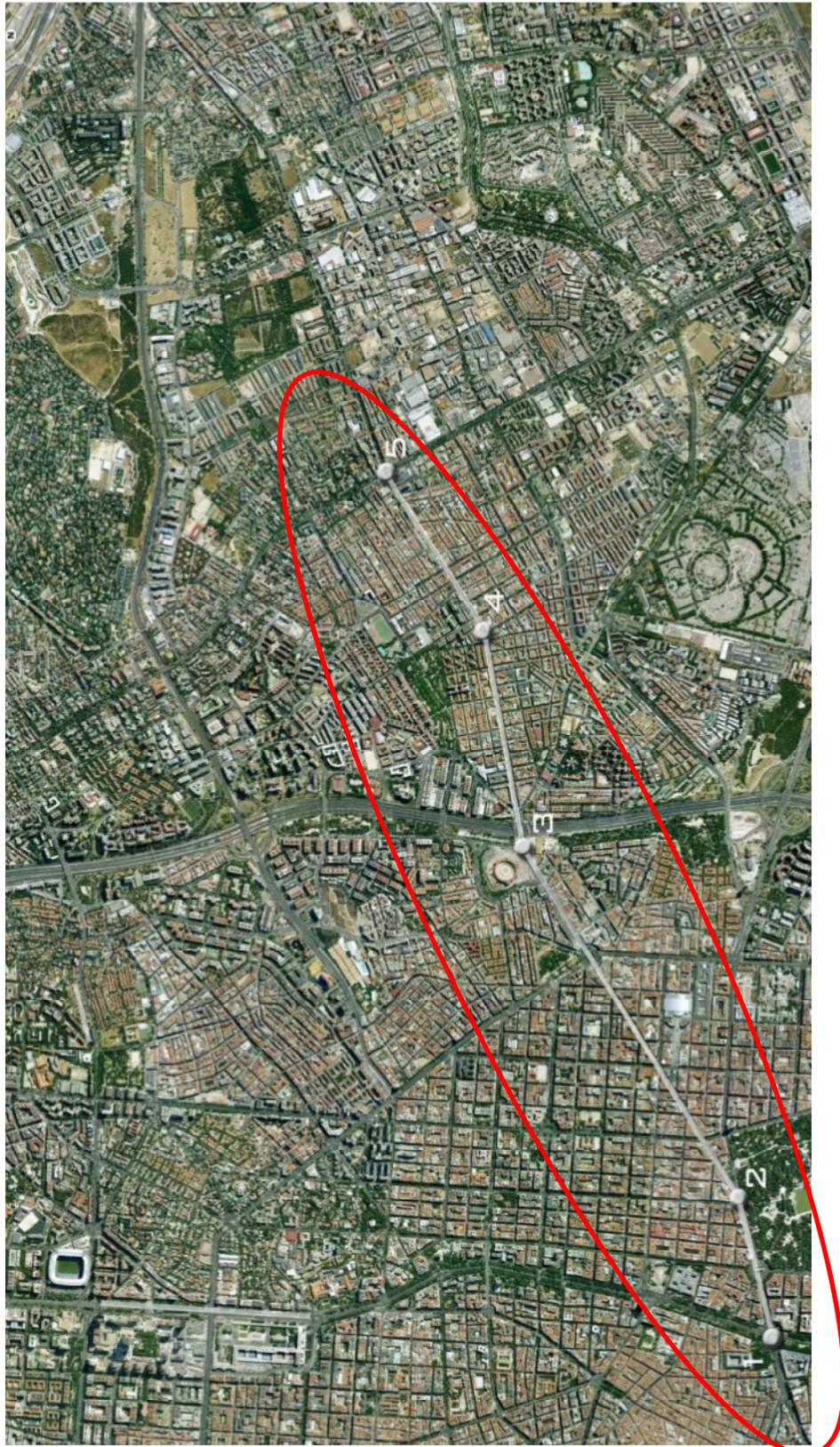


Fig. 11 Imagen tramo estudio calle Alcalá incluyendo los 5 vértices de estudio – Madrid (vista O-E) [Google Earth]

Tabla 13. Localización de vértices que definen eje de estudio calle Alcalá

Vértice	Latitud	Longitud	Altura	Referencia
1	40°25'08.08''N	3°41'36.32''O	644 m	Plaza de Cibeles
2	40°25'13.97''N	3°41'05.30''O	686 m	Parque de "El Retiro"
3	40°25'51.69''N	3°39'45.47''O	663 m	Plaza de Ventas
4	40°25'57.88''N	3°38'53.64''O	688 m	Plaza Quintana
5	40°26'14.65''N	3°38'16.45''O	694 m	Pza. Cruz de los Caídos

La elección de este tramo responde al interés que suscitó, en un primer acercamiento, medición de incrementos de temperatura de hasta 4° C en el eje vial elegido, por lo que se consideró fundamental continuar con la toma de muestras y extender el período de estudio a un año completo (Fig. 12 Detalle puntos de medición Calle Alcalá (vista N-S). Informes resumen mensuales). Se pautó una distancia máxima de 250 m entre puntos de medición como distancia razonable a la hora de considerar el entramado urbano a escala de manzana. De esta forma se genera una tabla de baremación que podrá verificar variaciones de hasta medio grado en distancias relativamente cortas dentro de la escala urbana objeto de estudio. [SAN PEDRO MENDOZA, F., 1994]

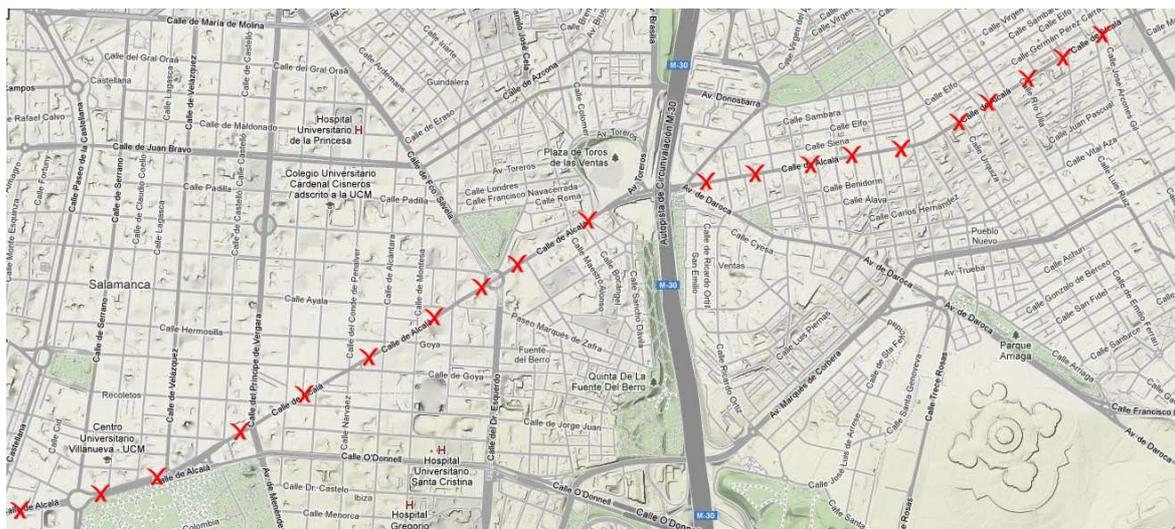


Fig. 12 Detalle puntos de medición Calle Alcalá (vista N-S). Informes resumen mensuales

[Universidad Camilo José Cela ,2014]

Se pretende establecer además una clara diferenciación entre entre las aceras expuestas a la acción de la radiación solar y las que permanecen a la sombra por los edificios. Es por ello que se realizan dos mediciones simultáneas por cada acera de la calle, buscando con ello eliminar la posibilidad de tener que hacer una media ponderada de los resultados al ejecutarse una única medición diaria. De haber sido dos mediciones se podría haber considerado una única acera para generar unos valores medios diarios sobre los que poder trabajar y poder realizar los cálculos energéticos pertinentes.

Asimismo, se es consciente de que existen otros aspectos de la morfología urbana que pueden afectar a las diferencias de temperaturas registradas, los cuales tendrán una incidencia en la medición de temperatura final (si bien se prestará atención a la medición en sí y no a sus posibles causas): vegetación o ausencia de esta, tipo de pavimento, grado de tráfico de la calle, anchura, usuarios, colores de acabado de los materiales de las fachadas y mobiliario urbano (elementos incidentes en el albedo)... Se plantea pues un primer apoyo sólido sobre el que iniciar la investigación de cara a proponer un nuevo concepto de entender el 'ahorro energético' tal y como lo plantean las directrices europeas en esta materia.

4.2 Pautas de medición

El trabajo de campo supervisado, en cuanto a mediciones físicas se refiere, responde a una planificación anual, con un mínimo de dos mediciones semanales, en días alternos, y a una misma hora solar. No se generarán mediciones en fin de semana (menor tráfico de usuarios de lo normal en la vía) ni días consecutivos, con el fin de poder establecer diferencias plausibles en las mediciones realizadas. La metodología empleada (mediciones únicamente en horas de sol, una medición

diaria...) responden a la logística disponible dentro del proyecto de investigación Nanoclimas Urbanos de la Universidad Camilo José Cela de Madrid, donde las mediciones manuales y no mediante sensores fijos limitaban el margen de maniobra de la toma de datos realizada.

Esta labor previa a la generación del este nuevo modelo energético ha sido vital para poder apoyar las hipótesis sobre una sólida base con fundamento empírico. Tomaremos los conceptos extraídos de sus conclusiones para poder luego añadir los incrementos de temperatura obtenidos en las simulaciones energéticas correspondientes del modelo virtual propuesto.

En el anexo A se podrá comprobar la frecuencia y localización de los puntos de medición así como su distribución en el tiempo, de modo que todo el planteamiento inicial quede plenamente justificado y demostrado.

Será precisamente de estos documentos de donde se extraerá la información necesaria para generar tablas de cálculo propias, unas tablas que ayudarán a cuantificar en términos de energía los ahorros potenciales en las demandas energéticas de la tipología arquitectónica "modelo" elegida para este estudio.

4.3 Trabajo de campo

Elección de puntos de medición según situaciones de modelo virtual

La elección de la finca sita en la calle Alcalá, 308 como modelo virtual de estudio, hace que los dos primeros puntos de medición elegidos (A1 y A2) sean los correspondientes a la localización precisa de la finca y a la del solar de la acera opuesta. La nomenclatura empleada para definir los puntos de simulación se desglosa en dos partes: letra (A, B, C) y número (1 para acera de los impares ó 2 para la acera de los pares)

De esta forma se extraerá de la base de datos anual de campo [Universidad Camilo José Cela, 2014], los valores de temperatura, humedad relativa, velocidad del viento y presión atmosférica de los puntos de estudio elegidos. Esto generará a su vez la creación de una serie de “tablas de referencia” con los valores buscados, para luego proceder al cálculo de los incrementos de temperatura existentes, introduciendo éstos en el programa de cálculo, y obtener así las cargas térmicas del modelo virtual de acuerdo a las nuevas condiciones de temperatura exterior.

Se definirán ahora uno por uno los puntos de medición elegidos, como situaciones alternativas al modelo energético virtual inicial. Datos cartográficos, altimétricos y longitudinales serán los reflejados en las fichas de identidad de los mismos, quedando así perfectamente situados en la trama urbana.

4.4 Método empleado. Simulaciones Energéticas

Elección y definición del modelo arquitectónico a simular

A lo largo del perfil de la calle Alcalá objeto del estudio en cuestión, se ha observado una gran multitud de tipologías arquitectónicas a medida que la distancia del centro urbano aumenta. Este hecho responde a la simple justificación del crecimiento de la ciudad de forma concéntrica (en nuestro caso será lineal al referirnos a un solo eje). Tenemos multitud de ejemplos, que van desde tipologías arquitectónicas propias del s. XIX (Alcalá 20 hasta el 120 aproximadamente), hasta modelos cuyo certificado final de obra corresponde al año 2003 (Alcalá 418). [DE TERÁN, F.; 2006] [TURÉGANO ROMERO, José A.; 2002] [TURÉGANO ROMERO, José A.; 2009] [VALENZUELA RUBIO, M.; 2009].

Así pues, definiendo estos dos extremos, se pueden obtener un amplio abanico de tipologías, sistemas constructivos y edificios singulares, que bien pueden definir el entorno arquitectónico de Madrid en una época determinada. Es precisamente por esta razón, por la que no es importante la elección en cuestión de un modelo determinado u otro, sino mantener la elección en concreto y elegir, además de su posición real, otras localizaciones de solar virtuales con el fin de poder simular las condiciones climáticas medidas en el trabajo de campo. De esta forma se podrán evidenciar las diferentes cargas térmicas (en consecuencia, diferentes demandas de energía) que se generan a partir de nuevas condiciones exteriores.

Toda diferencia de demanda de energía respecto al modelo actual supondrá un diferencial de energía evidente. Sin embargo, no se trata de manifestar que existe en un punto determinado una diferencia de temperatura exterior concreta respecto a la media histórica de ese mes (medida en período "clino", es decir, media de los últimos 30 años) ya

que esto sería una tremenda falacia, al manejarse en este una base de datos de campo medidos sólo en un año natural. Se tratará pues de evidenciar que, dentro de un mismo entorno urbano, a escala incluso de barrio o manzana, se generan (por diversas causas que posteriormente se analizarán) incrementos de temperatura (positivos o negativos) respecto al valor medio de temperatura exterior de la ciudad, que se maneja en cualquier cálculo energético (siendo ese valor medio el referido a la estación meteorológica más cercana, en nuestro caso, Retiro).

Será necesario centrarse pues en incrementos, no en valores determinados de temperatura, para generar las situaciones virtuales generadas para un mismo modelo en distintos entornos. De esta forma, la escala de medición será siempre la misma y se podrá concluir el porqué de las diferencias detectadas.

Tras esta serie de consideraciones previas, se decide adoptar un modelo característico de bloque de vivienda, a priori encuadrado en el tiempo en el ecuador de la historia urbana del eje de la calle Alcalá, y que asu vez que responde a una tipología arquitectónica de manzana cerrada, de edificio entre medianeras, con una fachada principal y un patio interior de servicio con dos crujías laterales que albergan las piezas de vivienda. El año de construcción del bloque de viviendas elegido es 1955, año determinante en la historia urbanística de Madrid, y que coincide con la creación de barrios de vivienda protegida y poblados dirigidos en la capital (Hortaleza, Canillas...) [ESTEBAN MALUENDA, A; 2009] [DE TERÁN, F.; 2006]. El modelo final de estudio será pues un edificio de referencia de igual tipología al situado en la calle Alcalá en su número 308

Para conocer la historia urbana de Madrid conviene repasar tanto la prensa de la época como las Actas de los acuerdos tomados en la Comisión de Urbanismo. En la prensa aparecen noticias de proyectos que se esbozaron y que, por razones nunca explicadas, fueron abandonados: son pautas para conocer cuál era el sueño en cada momento, cuáles las propuestas de construir una realidad que nunca pudo llevarse a cabo. Por el contrario, la lectura de las Actas de la Comisión de Urbanismo existentes de la época, permiten comprender la voluntad por construir la realidad, cuáles fueron los intereses, en qué dirección (y momento) se planificaron las grandes actuaciones o cuándo la actividad del sector sufrió un determinado parón. Es en las donde se evidencian las tensiones, reproches y amenazas que la Comisión formuló a alguno de esos inmobiliarios en su pretensión -una vez aprobado el proyecto- de aumentar volúmenes, subir alturas o disminuir el ancho de las calles.

Pero conviene no olvidar que aquellas operaciones se plantearon, en un principio, de forma abstracta, y que tras la Ley de Arrendamientos Urbanos de 1946 la situación cambió por completo, distanciándose la actitud del privado de la labor desarrollada por el Instituto Nacional de la Vivienda. La pretensión de construir 1.500 viviendas en la zona inmediata a Quintana refleja la contradicción planteada entre la actuación de Bamís y aquella propuesta, paralelamente, desde las Instituciones Oficiales 36. La Ley de Arrendamientos Urbanos de 1946 significó la congelación de los alquileres y, en consecuencia, supuso un freno para muchos constructores, para quienes el alquiler de viviendas dejaba de ser una inversión rentable, pasando a ser constructores de viviendas para la venta. Operaciones como la esbozada en Calero y Quintana. [DE TERÁN, 1999]

Esta breve introducción histórica sirve para localizar Alcalá, 308 dentro del barrio de Quintana de la capital y entender las razones de su distribución en planta y de los sistemas constructivos elegidos para erigirla. El solar en cuestión tiene una forma rectangular de 13,29 m de frente por 19,27 m de fondo regido por la normativa de Norma Zonal 4 del Plan General de Ordenación Urbana de Madrid. [PGOUM, 2011] Presenta un sótano bajo rasante, planta baja, cuatro alturas y ático.

El edificio se construye en una época y entorno coetáneos con la creación de viviendas sociales en la zona del barrio de Quintana en los años 50, por lo que, en cuanto a tipología y sistemas constructivos, ofrece muchas similitudes con la zona. [MINISTERIO DE FOMENTO, 2012] [MINISTERIO DE VIVIENDA 2008]

4.5 Definición puntos de medición situación modelo virtual

4.5.1 PUNTO A1. ALCALÁ, 331

Tabla 14. Datos cartográficos localización punto A1

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
A1	40° 25' 59'' N	3° 38' 57'' O	687	Alcalá 331



Fig. 13 Localización punto A1 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 14 Vista aérea punto A1 [Google Earth]

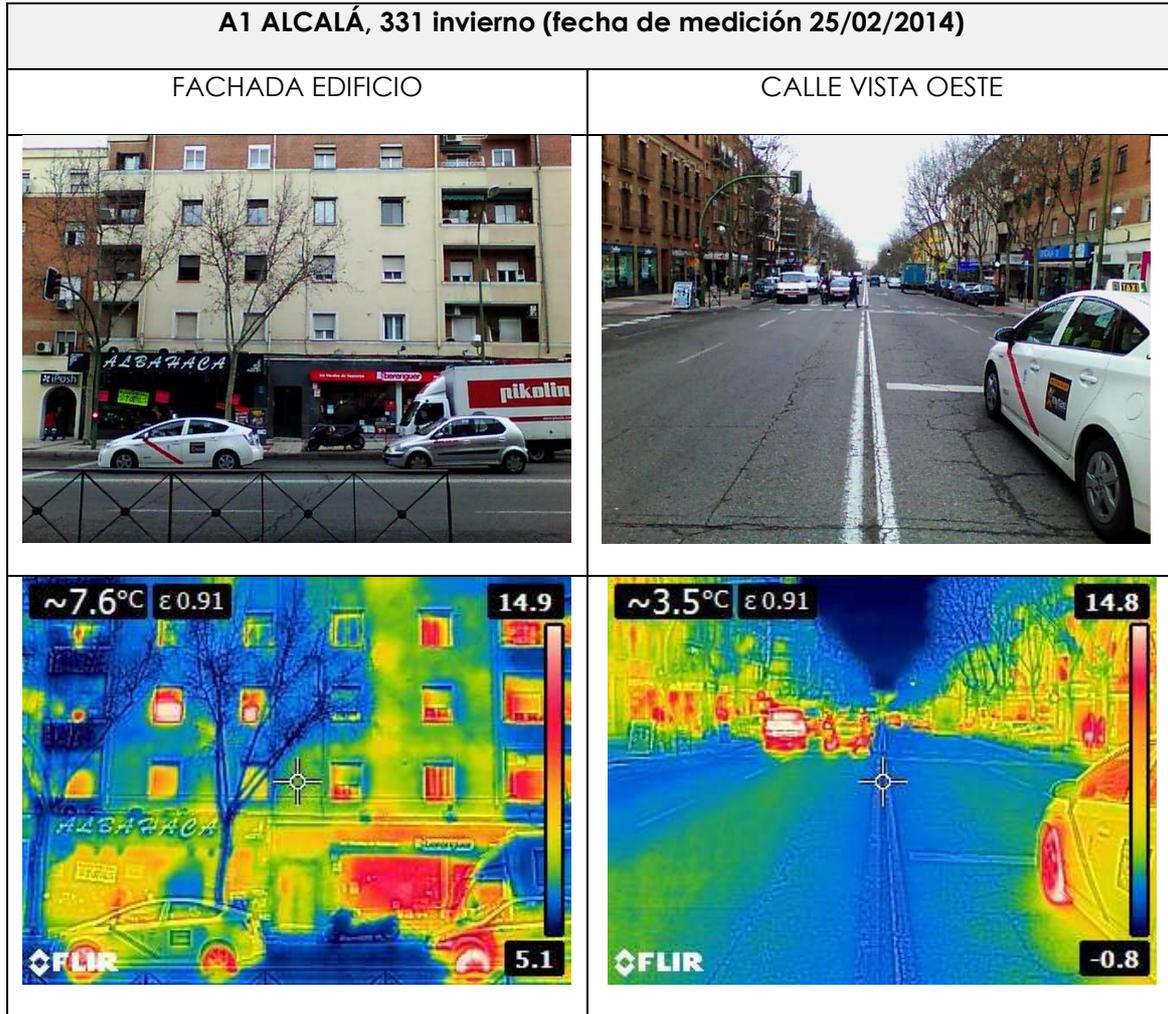


Fig. 15 Termografías e imágenes calle Punto A1 invierno (Alcalá 331)



Fig. 16 Termografías e imágenes calle Punto A1 verano (Alcalá 331)

4.5.2 PUNTO A2. ALCALÁ, 308

Tabla 15. Datos cartográficos localización punto A2

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
A2	40° 25' 58" N	3° 38' 56" O	687,77	Alcalá 308

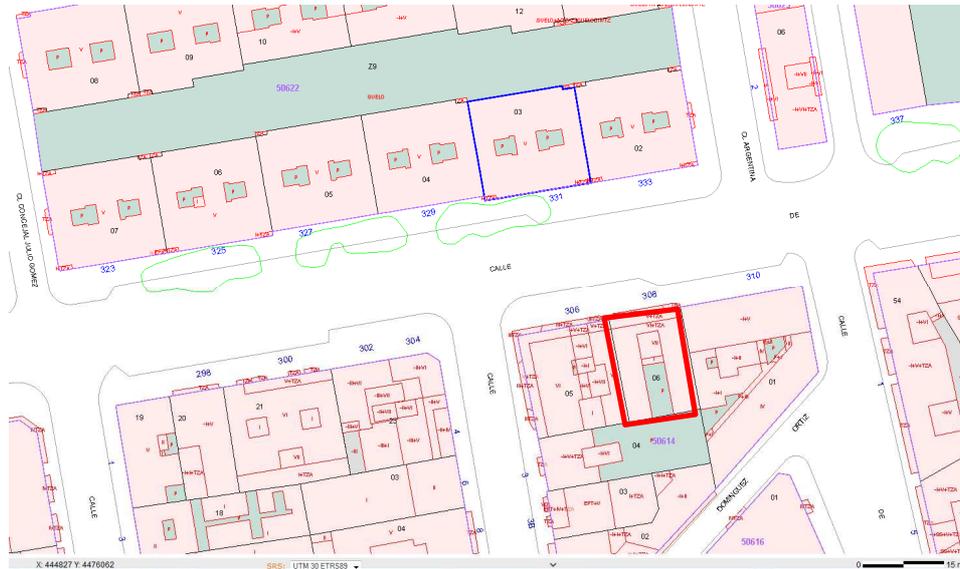


Fig. 17 Localización punto A2 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 18 Vista aérea punto A2 [Google Earth]

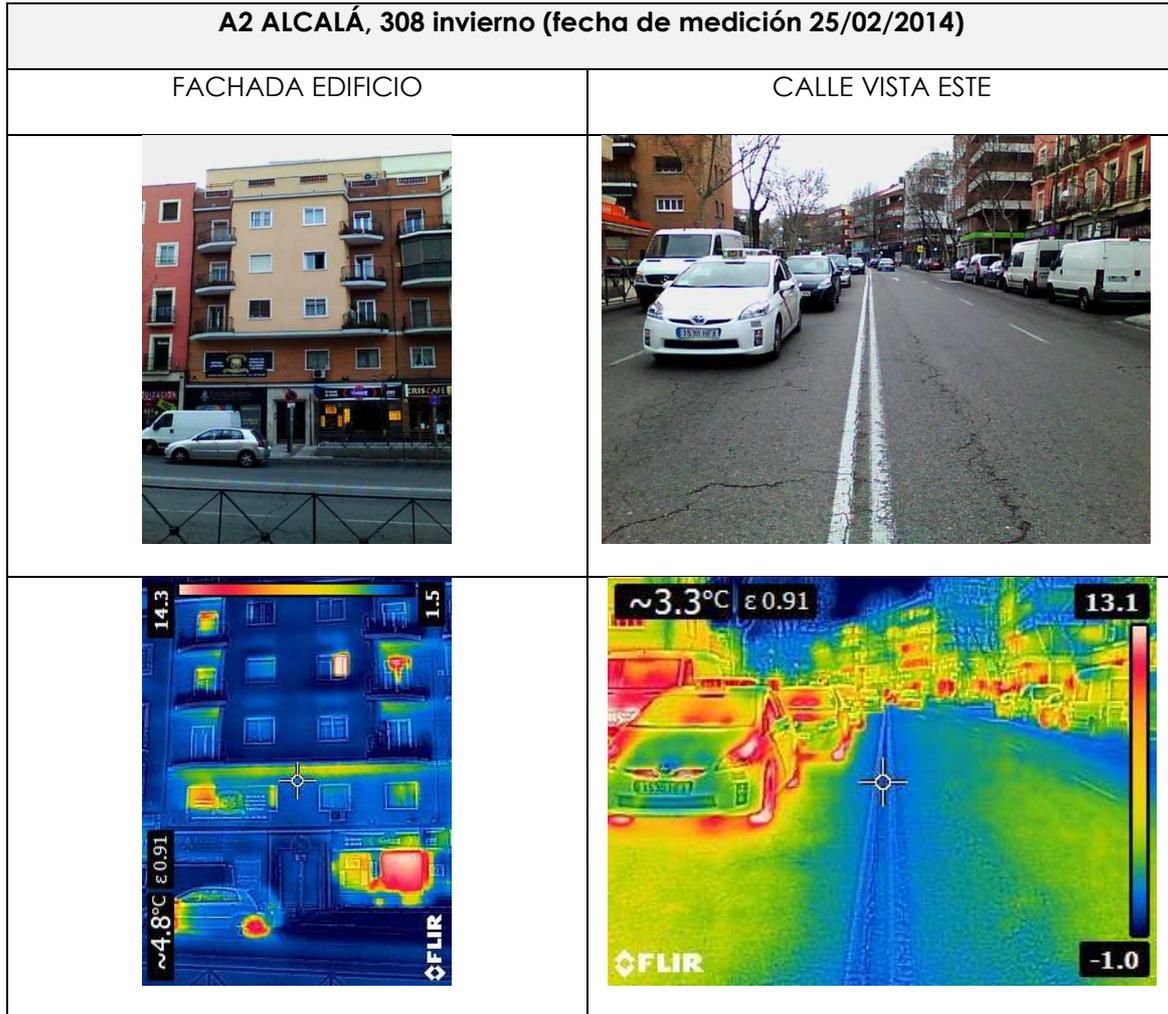


Fig. 19 Termografías e imágenes calle Punto A2 invierno (Alcalá 308)



Fig. 20 Termografías e imágenes calle Punto A2 verano (Alcalá 308)

4.5.3 PUNTO B1. ALCALÁ, 225

Tabla 16. Datos cartográficos localización punto B1

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
B1	40° 25' 47" N	3°39'54" O	662,23	Alcalá 225



Fig. 21 Localización punto B1 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 22 Vista aérea punto B1 [Google Earth]

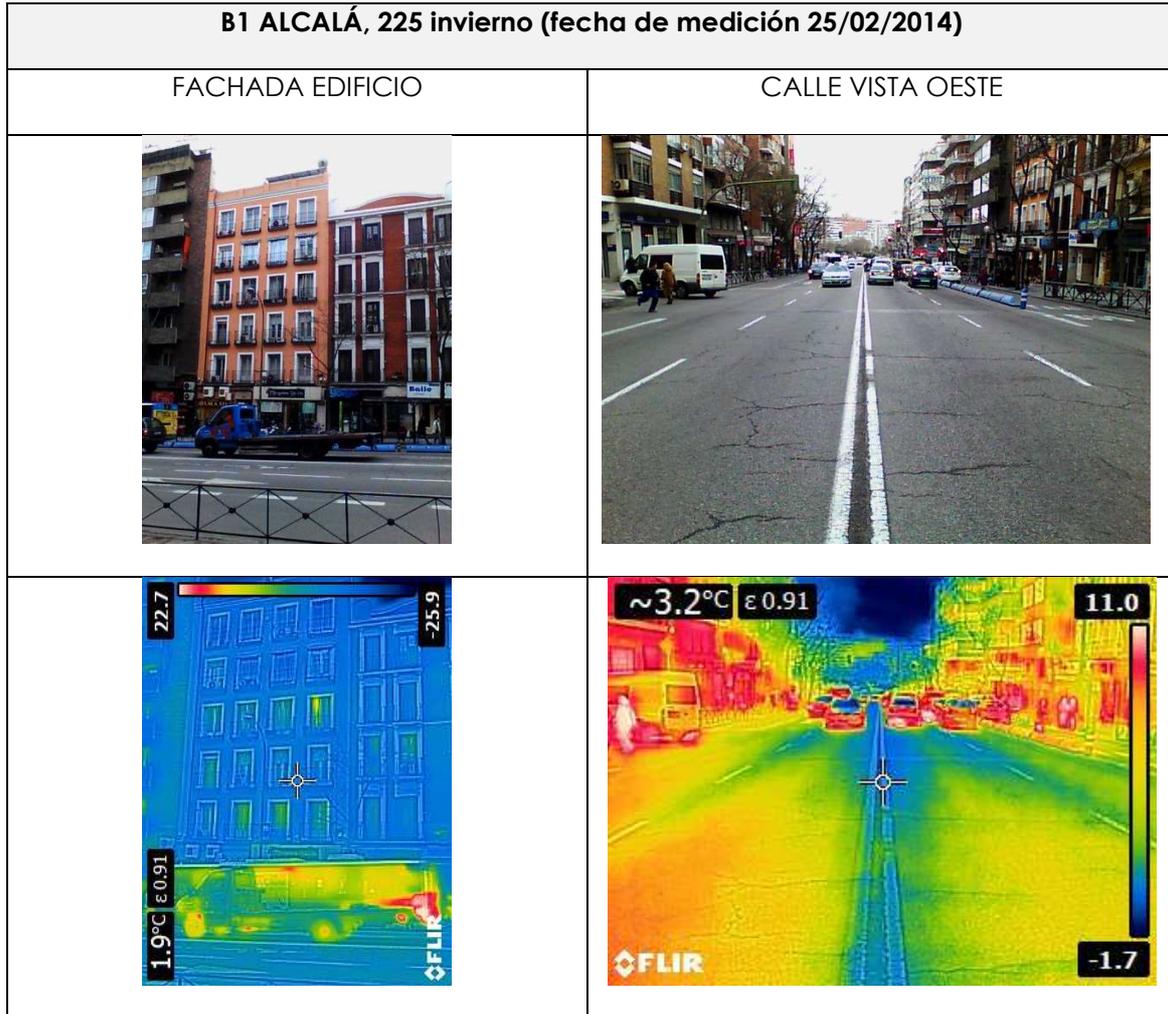


Fig. 23 Termografías e imágenes calle Punto B1 invierno (Alcalá 225)



Fig. 24 Termografías e imágenes calle Punto B1 verano (Alcalá 225)

4.5.4 PUNTO B2. ALCALÁ, 192

Tabla 17. Datos cartográficos localización punto B2

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
B2	40° 25' 47" N	3°39' 56" O	662,26	Alcalá 192



Fig. 25 Localización punto B2 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 26 Vista aérea punto B2 [Google Earth]

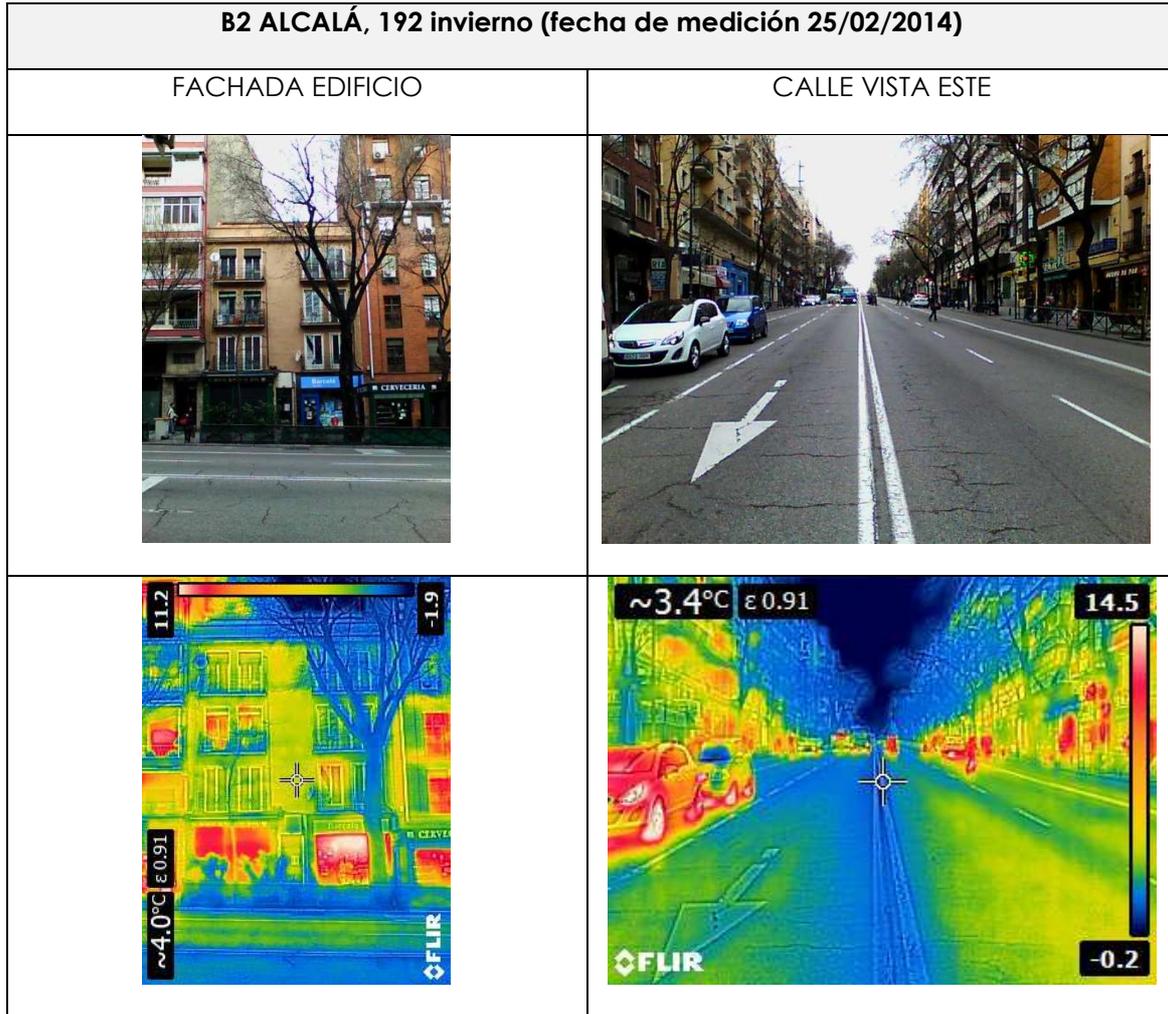


Fig. 27 Termografías e imágenes calle Punto B2 invierno (Alcalá 192)

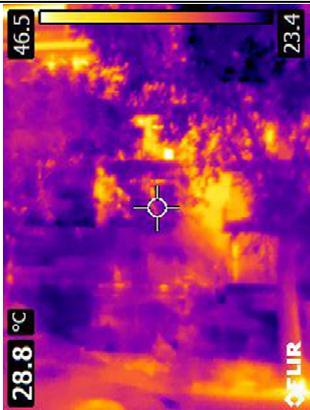
B2 ALCALÁ, 192 verano (fecha de medición 20/08/2014)	
FACHADA EDIFICIO	CALLE VISTA OESTE
	
	

Fig. 28 Termografías e imágenes calle Punto B2 verano (Alcalá 192)

4.5.5 PUNTO C1. ALCALÁ, 119

Tabla 18. Datos cartográficos localización punto C1

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
C1	40° 25' 21" N	3° 40' 51" O	682,69	Alcalá 119



Fig. 29 Localización punto C1 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 30 Vista aérea punto C1 [Google Earth]

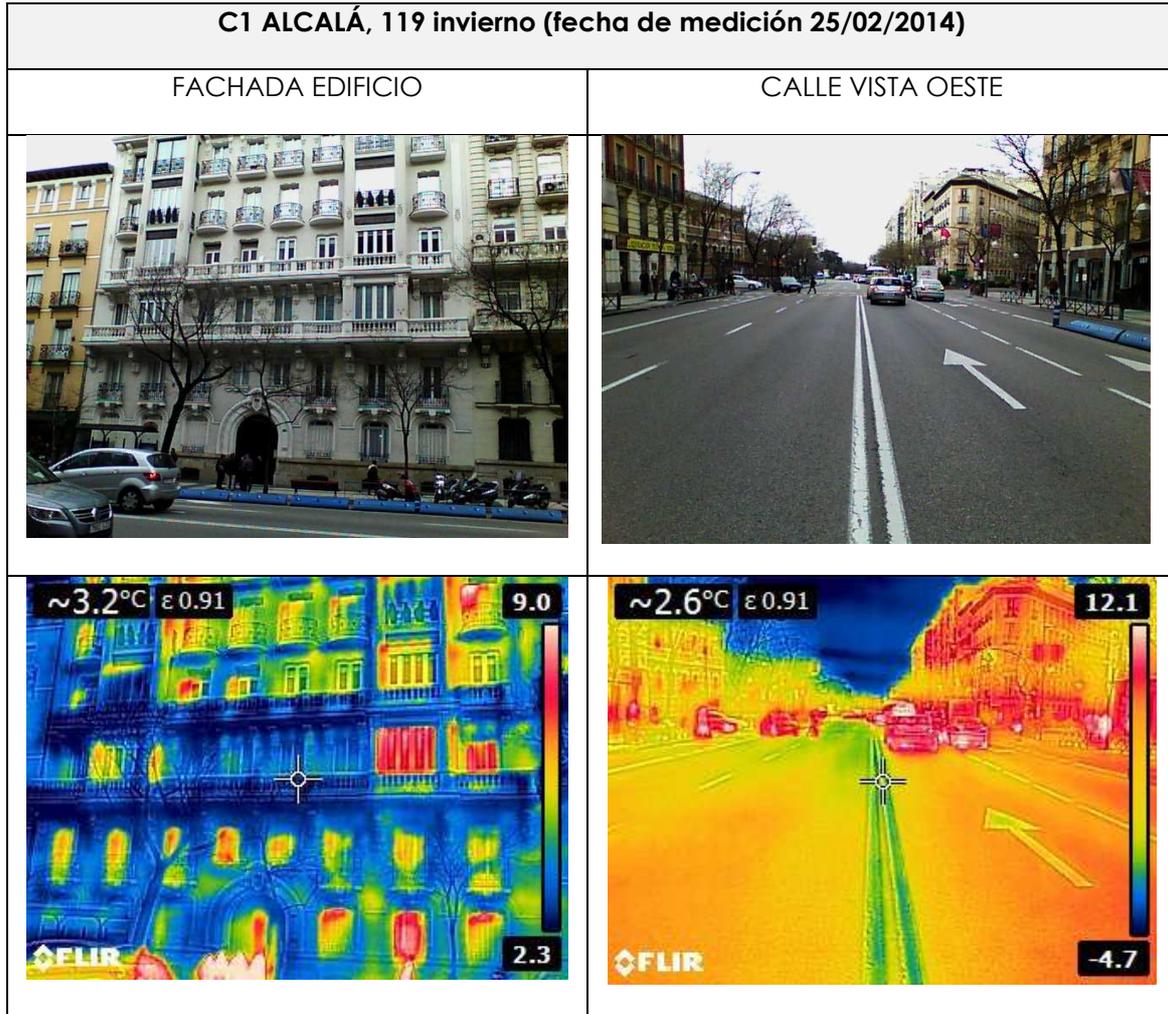


Fig. 31 Termografías e imágenes calle Punto C1 invierno (Alcalá 119)

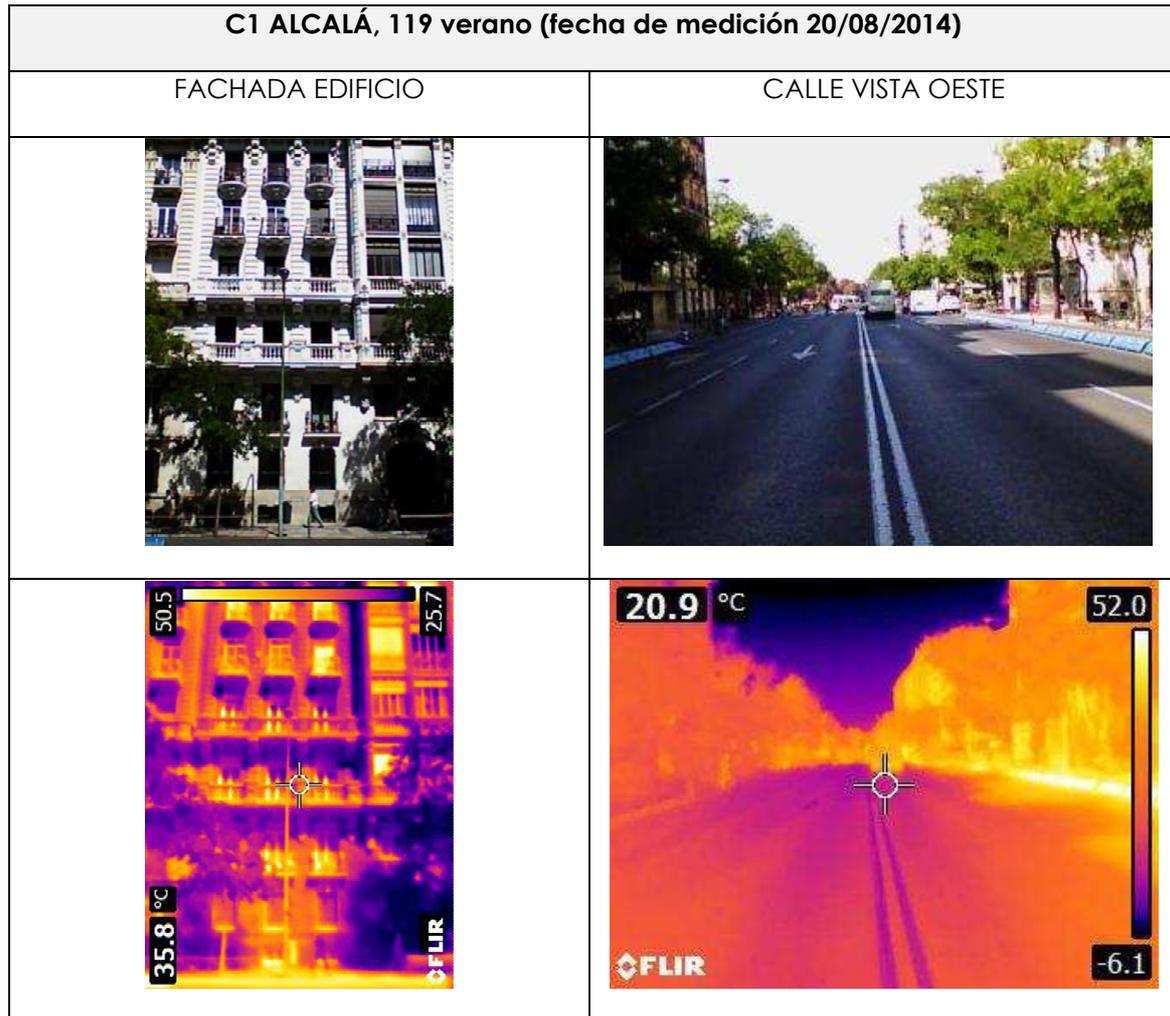


Fig. 32 Termografías e imágenes calle Punto C1 verano (Alcalá 119)

4.5.6 PUNTO C2. ALCALÁ, 70

Tabla 19. Datos cartográficos localización punto C2

	LATITUD	LONGITUD	COTA (m)	REFERENCIA
C2	40° 25' 20" N	3°40' 50" O	673,90	Alcalá 70

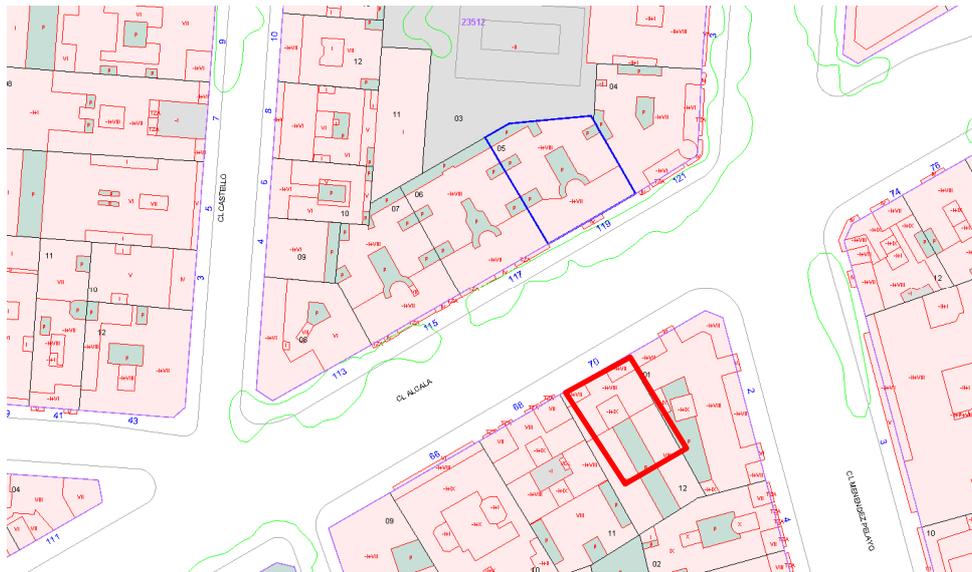


Fig. 33 localización punto C2 [Sede Electrónica del Catastro]



Fig. 34 vista aérea punto C2 [Google Earth]

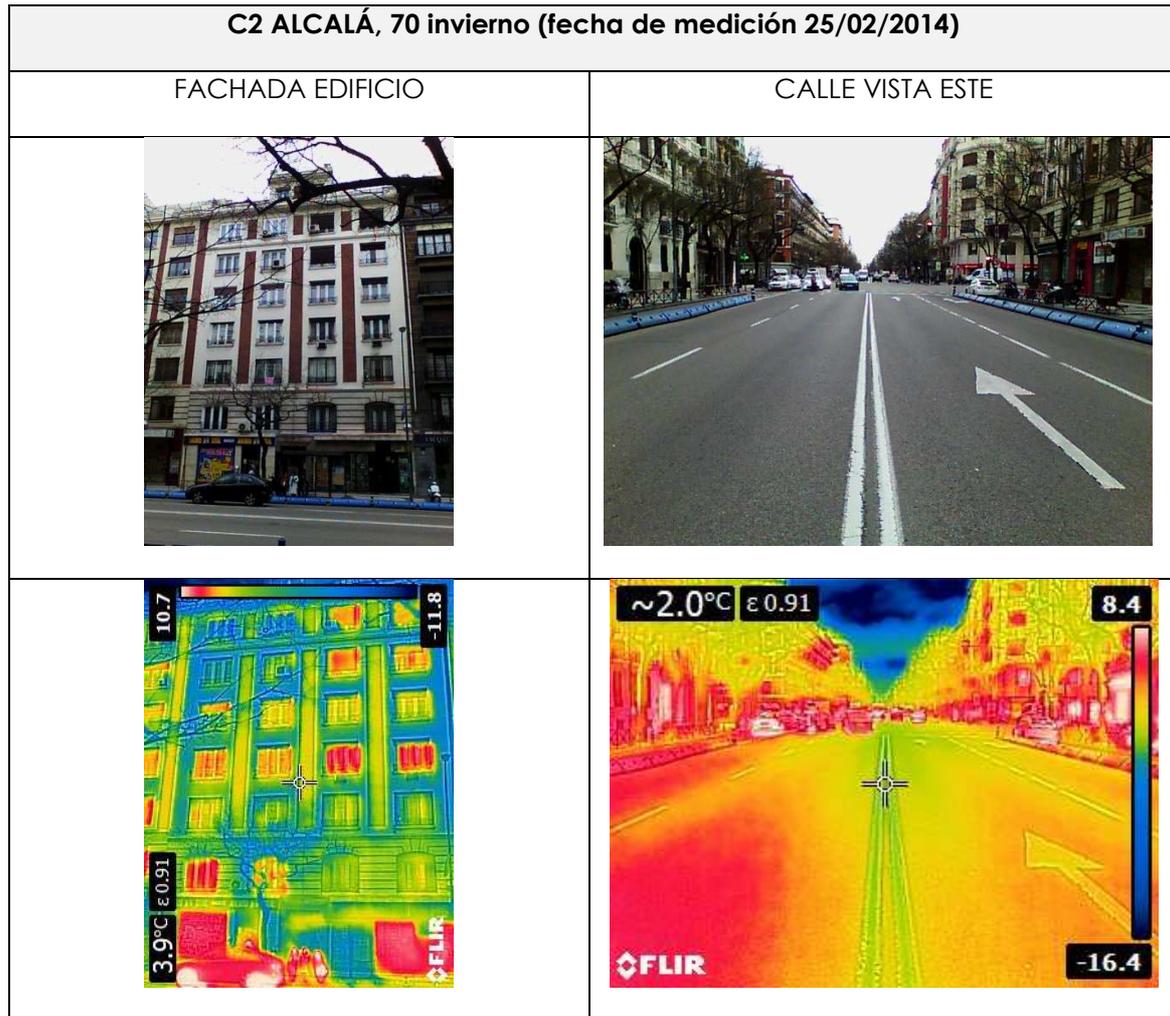


Fig. 35 Termografías e imágenes calle Punto C2 invierno (Alcalá 70)

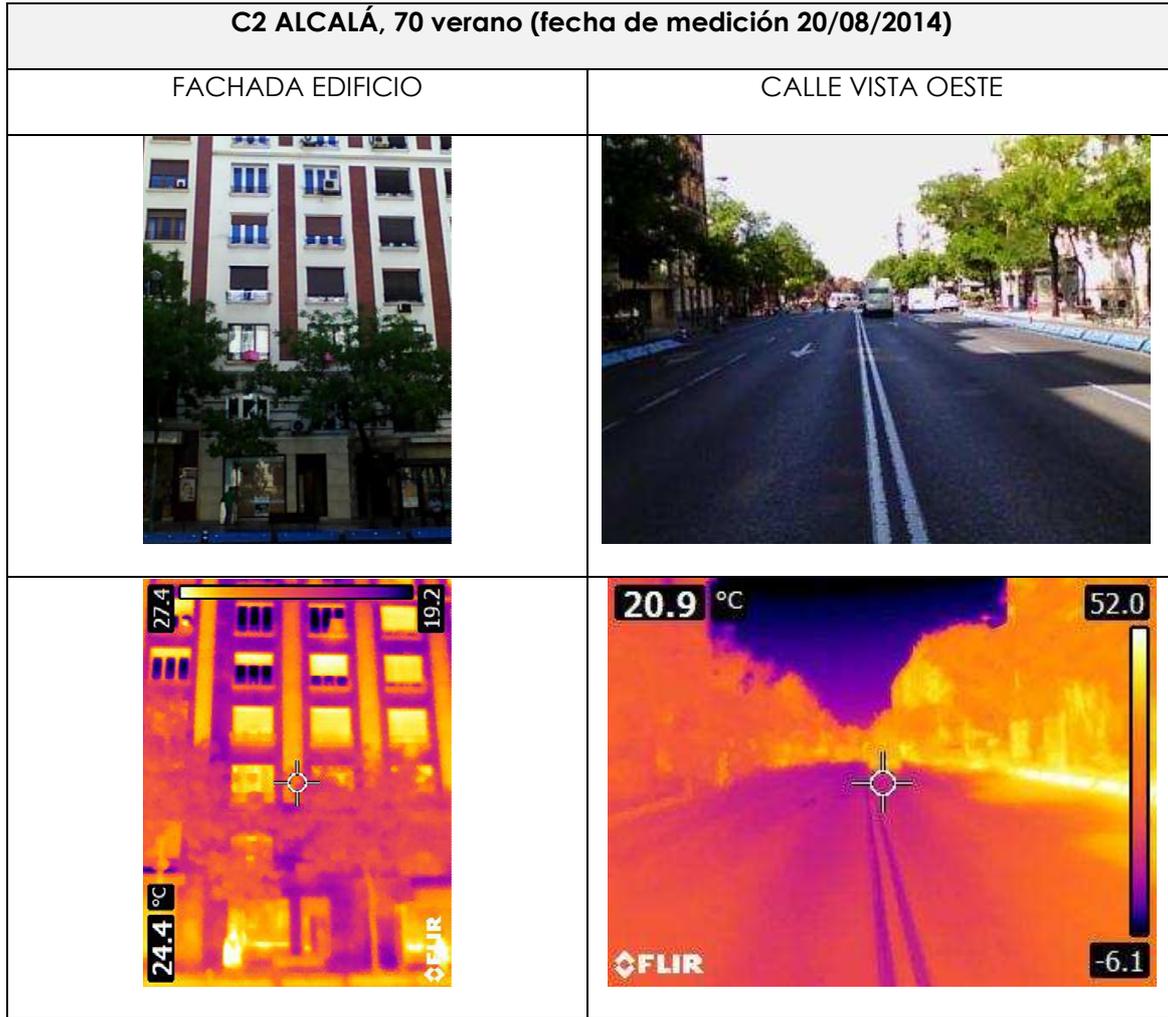


Fig. 36 Termografías e imágenes calle Punto C2 verano (Alcalá 70)

4.6 Definición planimétrica del modelo a simular

Se definirá ahora el edificio, tanto planimétrica como constructivamente, para poder generar un modelo virtual que se ajuste a la realidad y sirva como base para determinar las cargas térmicas resultantes en función de su tipología y condiciones climáticas del entorno.

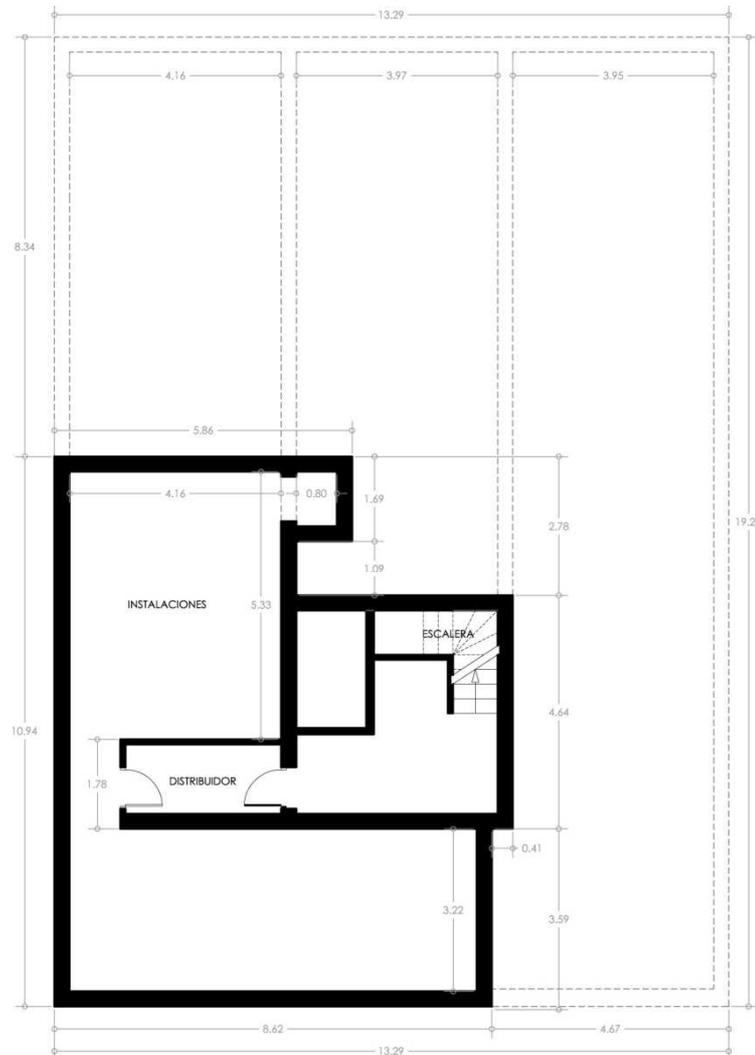


Fig. 37 Planta sótano



Figs. 38 y 39 Vista fachada principal e interior núcleo de escaleras

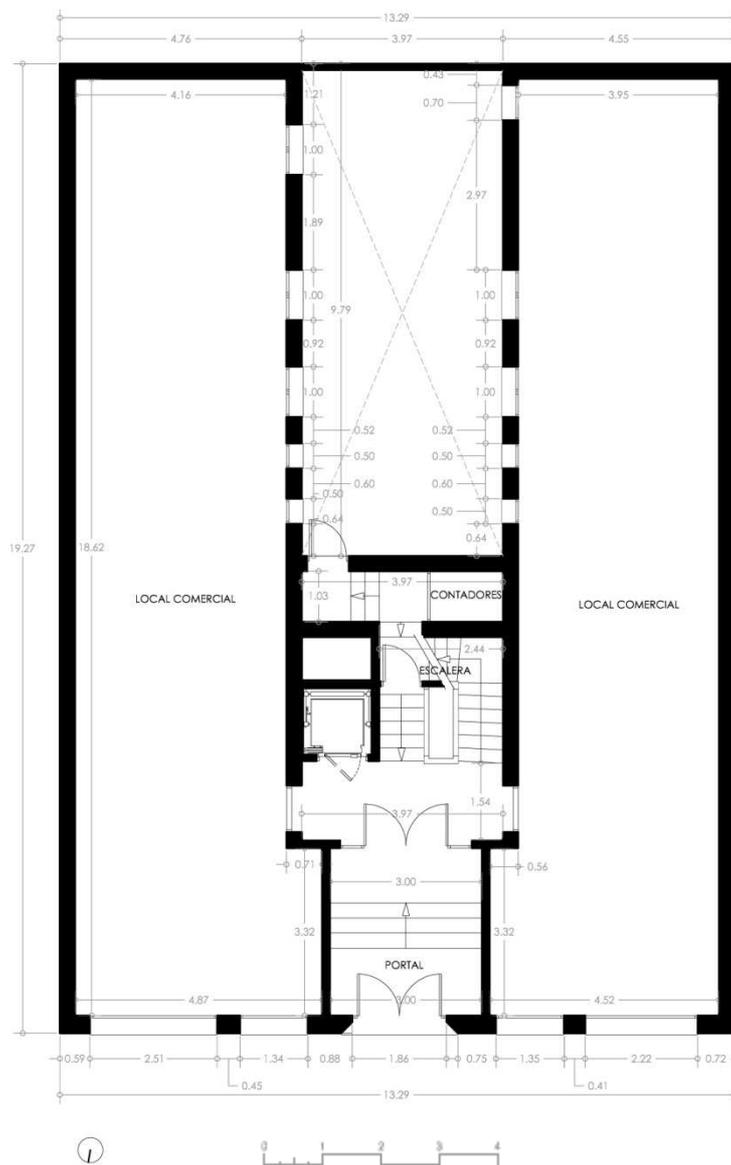


Fig. 40 Planta baja



Figs. 41 y 42 Vista exterior fachadas de patio interior

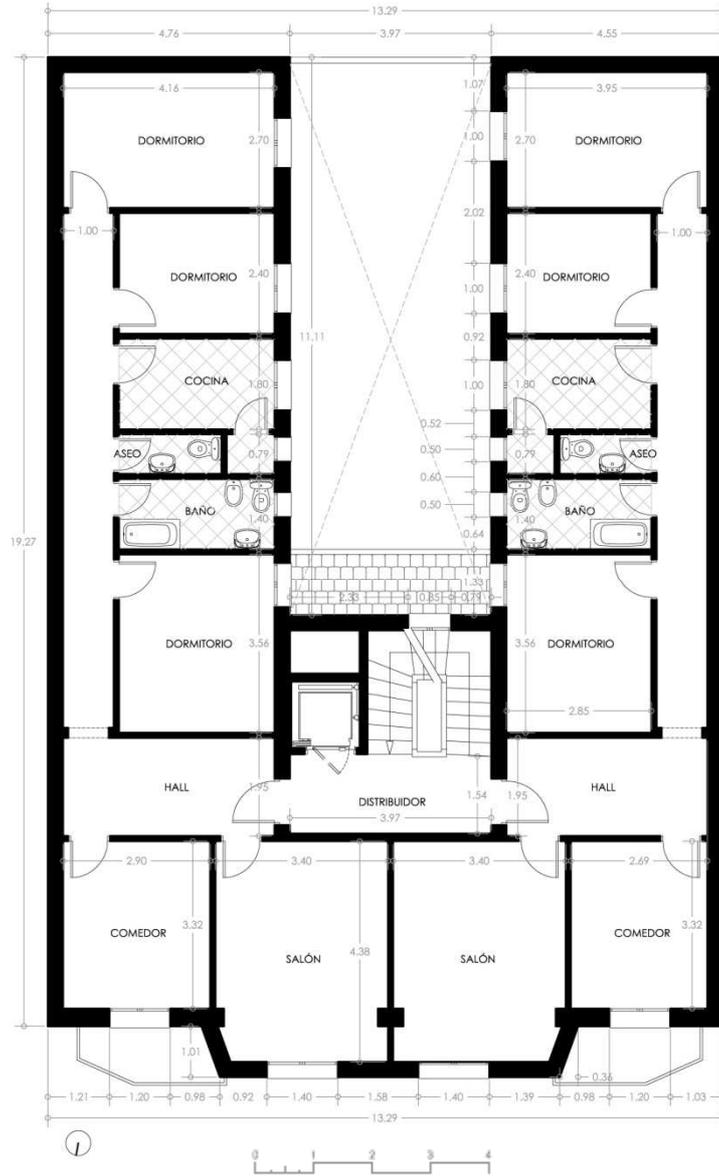


Fig. 43 Planta tipo



Figs. 44 y 45 Vista interior núcleo comunicaciones

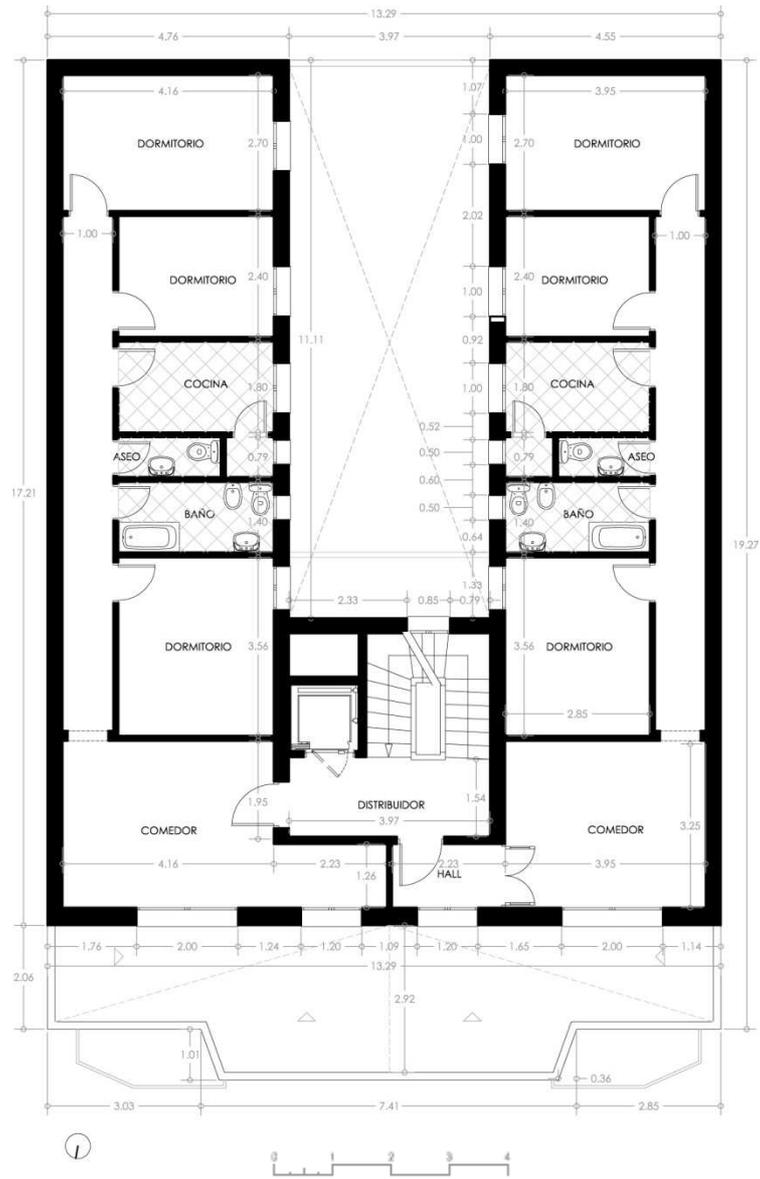


Fig. 46 Planta ático

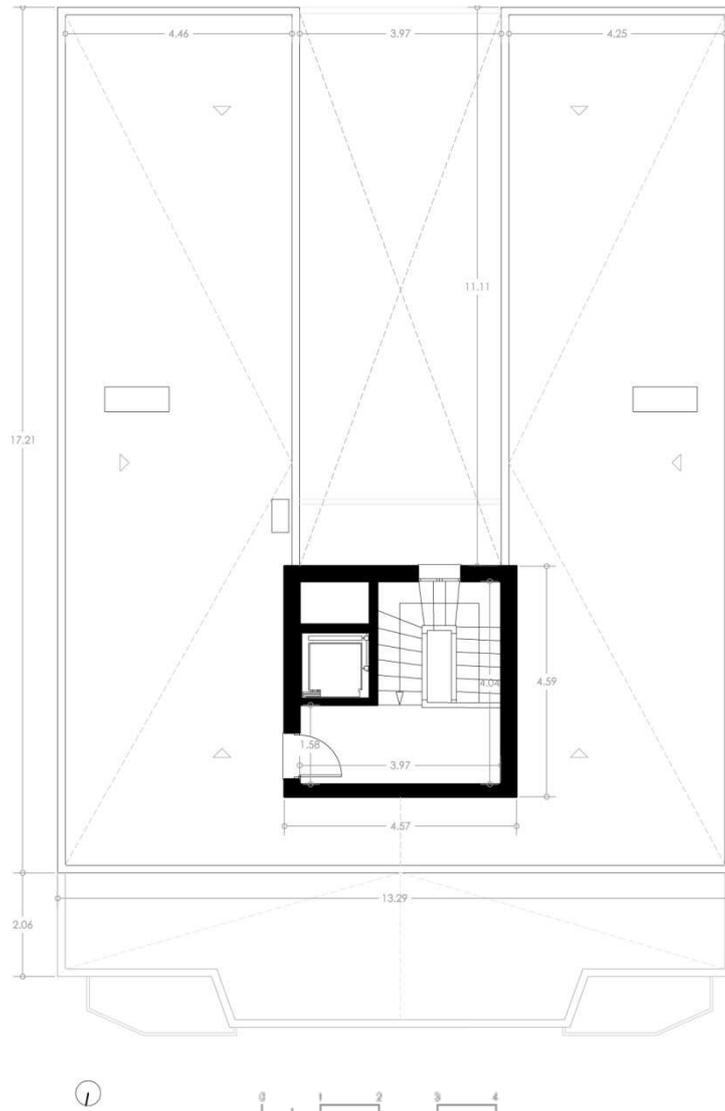


Fig. 47 Planta de cubiertas



Fig. 48 Alzado principal calle Alcalá



Figs. 49 y 50. Vistas fachada principal

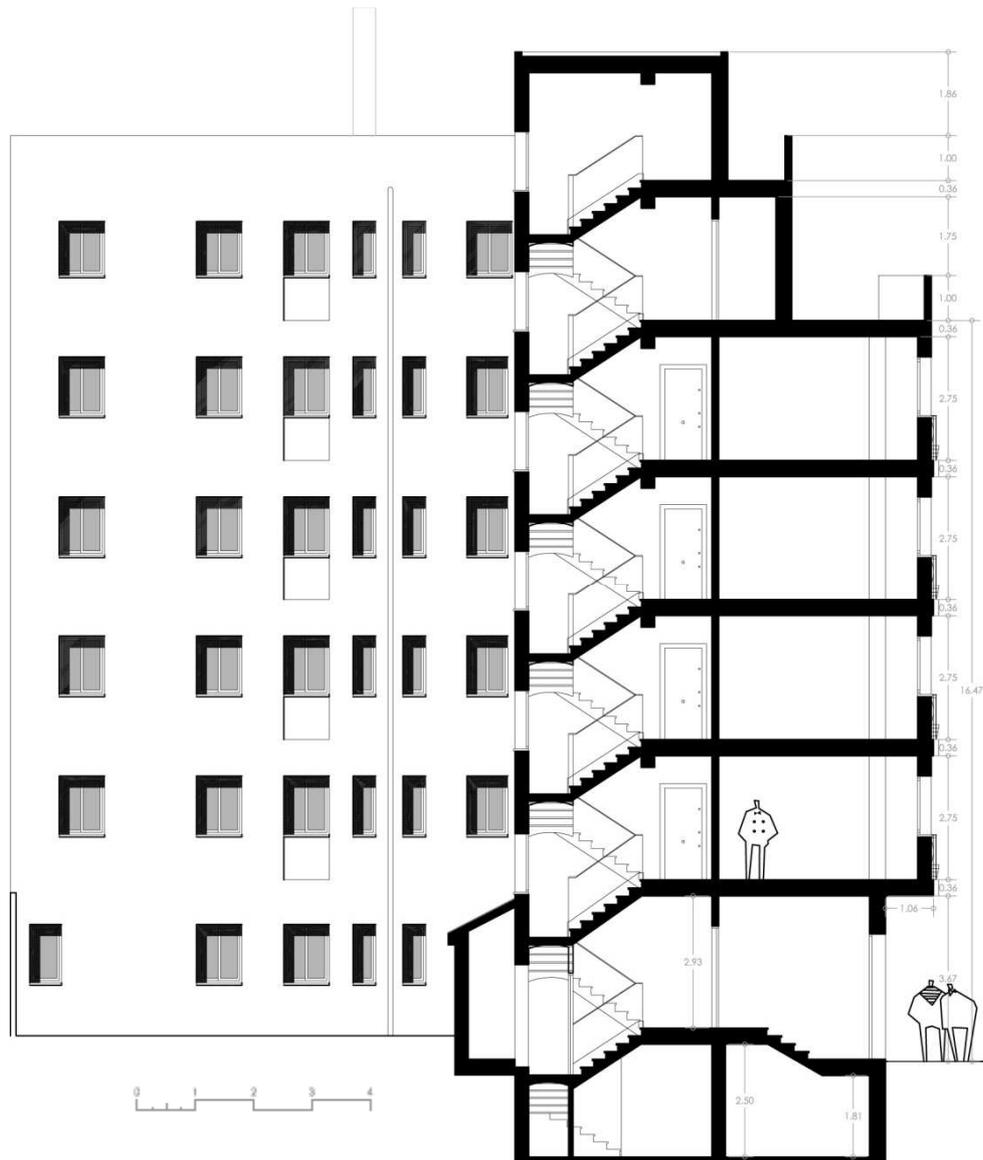


Fig. 51 Sección por la escalera



Fig. 52 Vista interior núcleo de escaleras

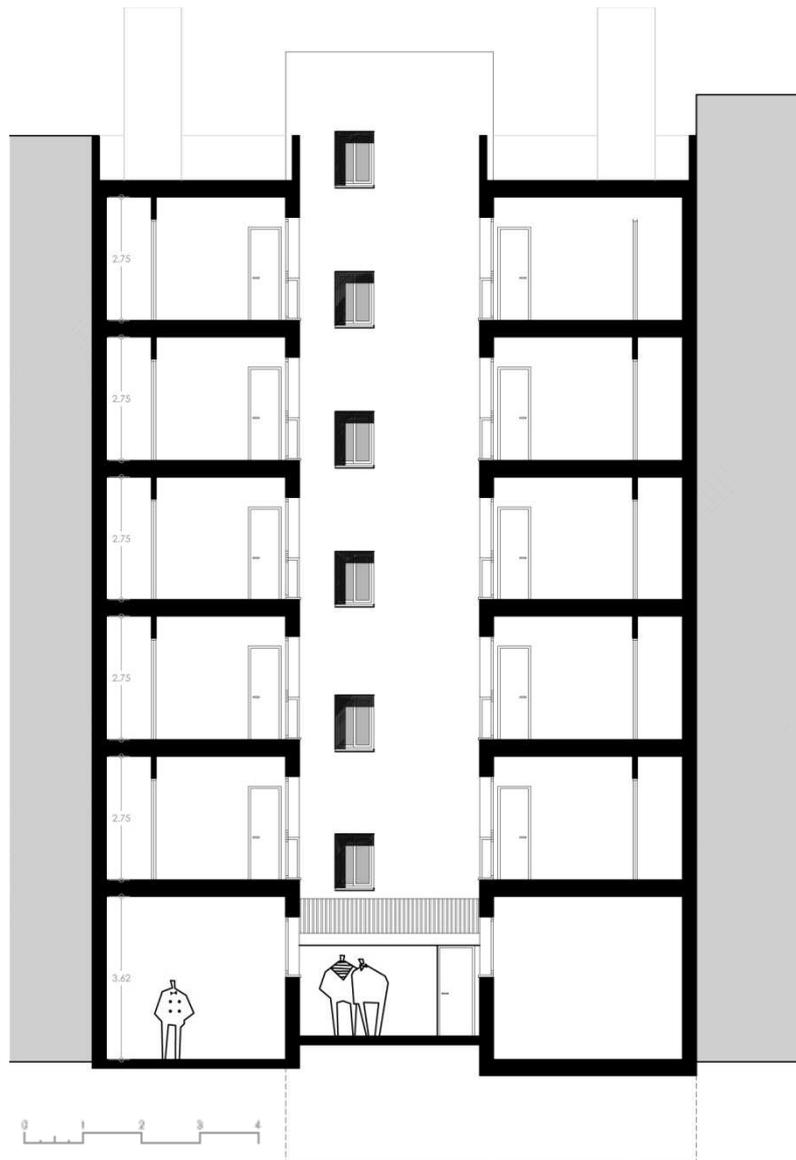


Fig. 53 Sección transversal por el patio



Fig. 54 vista exterior patio interior

4.7 Definición constructiva del modelo a simular

4.7.1 Cerramientos exteriores

4.7.1.1 Fachadas

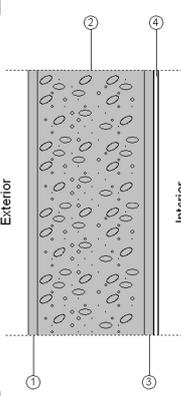
En las tablas 20, 21 y 22 se definen constructivamente la composición de los cerramientos de fachadas exteriores del edificio. Se extraerán del anexo de materiales del C.T.E. los valores necesarios de transmitancia térmica (U_m), masa superficial del elemento constructivo e índice global de reducción acústica (R_A).

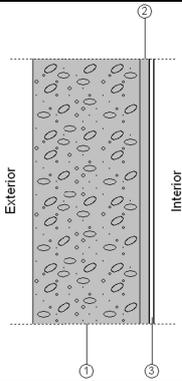
Se trata de definir los parámetros energéticos de cada cerramiento, con el fin de poder realizar la simulación del edificio modelo y poder obtener los parámetros de cargas térmicas necesarias que definan las necesidades energéticas de cada estancia

Tabla 20. Definición constructiva muro sótano

Muro Sótano		Superficie total 84.51 m ²
	<p>Listado de capas:</p> <p>1 - 1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 48 cm 60 mm</p> <p>2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250</p> <p>3 - acabado interior</p> <p>Espesor total: 51 cm</p>	
Limitación de demanda energética	U_m : 1.06 W/m ² K	
Protección frente al ruido	Masa superficial: 623.10 kg / m ²	
	Masa superficial del elemento base: 608.10 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A : 63.1 dBA	

Tabla 21. Definición constructiva fachada de patio

Fachada Principal Edificio 2 (Patio)		Superficie total 482.57 m ²
	Listado de capas: 1 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 2 cm 2 - 1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 24 cm 60 mm 3 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 2 cm 4 - acabado interior 1 cm Espesor total: 29 cm	
	Limitación de demanda energética	Um: 1.61 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 353.30 kg / m ²	
	Masa superficial del elemento base: 338.30 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, RA: 53.8 dBA	

Fachada Principal Edificio 1 (ladrillo visto)		Superficie total 66.37 m ²
	Listado de capas: 1 - 1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 24 cm 60 mm 2 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 2 cm 3 - acabado interior 1 cm Espesor total: 27 cm	
	Limitación de demanda energética	Um: 1.71 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 330.80 kg / m ²	
	Masa superficial del elemento base: 315.80 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, RA: 52.7 dBA	
Fachada Principal Edificio 2		Superficie total 144.93 m ²

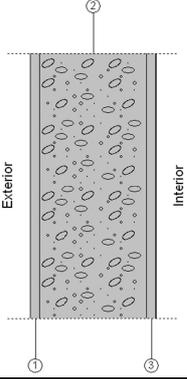
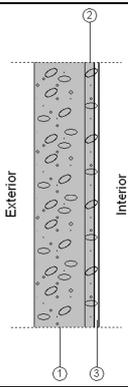
	<p>Listado de capas:</p> <p>1 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido $1000 < d < 1250$ 2 cm</p> <p>2 - 1 pie LP métrico o catalán $40 \text{ mm} < G < 60 \text{ mm}$ 24 cm</p> <p>3 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$ 2 cm</p> <p>Espesor total: 28 cm</p>
Limitación de demanda energética	$U_m: 1.66 \text{ W/m}^2\text{K}$
Protección frente al ruido	<p>Masa superficial: 338.30 kg / m^2</p> <p>Índice global de reducción acústica, ponderado A, $R_A: 53.8 \text{ dBA}$</p>

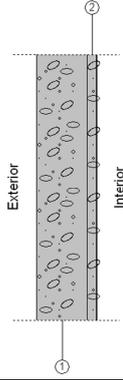
Tabla 22. Definición constructiva fachada principal

4.7.1.2 Medianerías

A pesar de que las medianeras se pueden llegar a considerar como cerramientos adiabáticos, es decir, que permiten a su través el flujo de calor, se simularán también entendiéndolos como fachada exterior del edificio para así poder considerar la existencia de un edificio exento y no necesariamente apoyado en uno contiguo con flujo de calor a su través [Tabla 23]

Tabla 23. **Definición constructiva de las medianeras**

Medianera Este Superficie total 535.03 m^2	
	<p>Listado de capas:</p> <p>1 - 1/2 pie LP métrico o catalán $60 \text{ mm} < G < 80 \text{ mm}$ 11.5 cm</p> <p>2 - Enlucido de yeso $1000 < d < 1300$ 2 cm</p> <p>3 - acabado interior 1 cm</p> <p>Espesor total: 14.5 cm</p>
Limitación de demanda energética	$U_m: 1.93 \text{ W/m}^2\text{K}$
Protección frente al ruido	<p>Masa superficial: 155.30 kg / m^2</p> <p>Masa superficial del elemento base: 140.30 kg / m^2</p> <p>Índice global de reducción acústica, ponderado A, $R_A: 40.6 \text{ dBA}$</p>

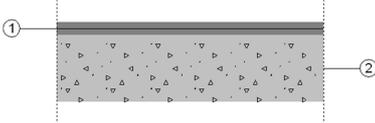
Medianera Oeste		Superficie total 91.62 m ²
	Listado de capas: 1 - 1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm 11.5 cm 2 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 2 cm Espesor total: 13.5 cm	
	Limitación de demanda energética	U _m : 2.01 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 140.30 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 40.6 dBA	

4.7.2 Suelos en contacto con el exterior

4.7.2.1 Soleras

En este apartado se definirá la composición de los cerramientos horizontales en contacto con el terreno [Tabla 24]

Tabla 24. Definición constructiva soleras planta baja

Solera - S.P		Superficie total 63.33 m ²
	Listado de capas: 1 - Mármol [2600 < d < 2800] 3 cm 2 - Hormigón armado d > 2500 15 cm Espesor total: 18 cm	
	Limitación de demanda energética	U _s : 0.41 W/m ² K (Para una solera apoyada, con longitud característica B' = 5.1 m)
Solera - S.MC		Superficie total 73.69 m ²
	Listado de capas: 1 - Plaqueta o baldosa cerámica 3 cm 2 - Hormigón armado d > 2500 15 cm Espesor total: 18 cm	
	Limitación de demanda energética	U _s : 1.44 W/m ² K (Para una solera apoyada, con longitud característica B' = 3.0 m)

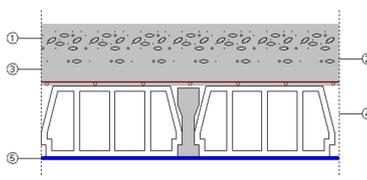
4.7.3 Cubiertas

4.7.3.1 Azoteas

Siguiendo con la definición de la piel exterior del edificio, se procede a describir la composición de los cerramientos exteriores de cubierta [Tabla 35]

Tabla 25. **Definición constructiva de cubiertas**

T01.MW - Cubierta Patio		Superficie total 4.06 m ²
	Listado de capas: 1 - Polipropileno [PP] 2 cm 2 - Hormigón armado d > 2500 20 cm 3 - Cámara de aire sin ventilar 30 cm 4 - MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] 2 cm 5 - Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 1.5 cm Espesor total: 55.5 cm	
	Limitación de demanda energética	U _c refrigeración: 0.90 W/m ² K U _c calefacción: 0.96 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 551.38 kg / m ²	
	Masa superficial del elemento base: 538.20 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 61.2 dBA	
En15 - Cubierta Terraza		Superficie total 170.49 m ²
	Listado de capas: 1 - Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 5 cm 3 - Polipropileno [PP] 2 cm 4 - Forjado unidireccional (Elemento resistente) 30 cm 5 - Enlucido de yeso d < 1000 1.5 cm Espesor total: 40.5 cm	
	Limitación de demanda energética	U _c refrigeración: 1.51 W/m ² K U _c calefacción: 1.69 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 499.95 kg / m ²	
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 60.0 dBA	

	Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, $L_{n,w}$: 69.5 dB
EnI15 - Cubierta Casetón	Superficie total 15.79 m ²
	Listado de capas: 1 - Arena y grava [1700 < d < 2200] 10 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 5 cm 3 - Polipropileno [PP] 2 cm 4 - Forjado unidireccional (Elemento resistente) 30 cm 5 - Enlucido de yeso d < 1000 1.5 cm Espesor total: 48.5 cm
Limitación de demanda energética	U_c refrigeración: 1.45 W/m ² K
	U_c calefacción: 1.61 W/m ² K
Protección frente al ruido	Masa superficial: 604.95 kg / m ²
	Índice global de reducción acústica, ponderado A, R_A : 63.0 dBA

4.7.4 Huecos verticales

Los huecos verticales de los cerramientos exteriores del edificio se definen en la [Tabla 36], con el fin de poder cuantificar las pérdidas térmicas que se producen a su través

Tabla 26. Definición constructiva huecos verticales fachada (ventanas y puertas)

Ventanas										
Tipo	Acristalamiento	M_M	U_{MA}	FM	Pa	C_M	U_{HU}	F_s	F_H	R_w ($C;C_{tr}$)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x19)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x19)	Metálico	5.70	0.26	Clase 2	Claro (0.40)	3.93	0.76	0.44	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Metálico	5.70	0.28	Clase 2	Claro (0.40)	3.98	0.76	0.43	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x29)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x29)	Metálico	5.70	0.17	Clase 2	Claro (0.40)	3.71	0.82	0.53	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Metálico	5.70	0.08	Clase 2	Claro (0.40)	3.48	1.00	0.71	29(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Metálico	5.70	0.08	Clase 2	Claro (0.40)	3.50	1.00	0.71	29(-1;-5)

Ventanas										
Tipo	Acristalamiento	M _M	U _{MA}	FM	Pa	C _M	U _{HU}	F _S	F _H	R _w (C;C _{tr})
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Metálico	5.70	0.21	Clase 2	Claro (0.40)	3.80	0.76	0.47	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	Metálico	5.70	0.14	Clase 2	Claro (0.40)	3.64	1.00	0.67	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x10)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x10)	Metálico	5.70	0.15	Clase 2	Claro (0.40)	3.67	1.00	0.66	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x7)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x7)	Metálico	5.70	0.14	Clase 2	Claro (0.40)	3.64	1.00	0.66	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x6)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x6)	Metálico	5.70	0.18	Clase 2	Claro (0.40)	3.73	0.82	0.52	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x5)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x5)	Metálico	5.70	0.19	Clase 2	Claro (0.40)	3.75	0.67	0.43	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x2)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x2)	Metálico	5.70	0.19	Clase 2	Claro (0.40)	3.76	0.82	0.52	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x6)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x6)	Metálico	5.70	0.18	Clase 2	Claro (0.40)	3.74	0.82	0.52	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x4)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x4)	Metálico	5.70	0.27	Clase 2	Claro (0.40)	3.95	0.76	0.44	32(-1;-5)
Ventana de acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x2)	Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm) (x2)	Metálico	5.70	0.12	Clase 2	Claro (0.40)	3.60	1.00	0.68	32(-1;-5)
Abreviaturas utilizadas										
M_M	Material del marco				U_{HU}	Coficiente de transmisión (W/m²K)				
U_{MA}	Coficiente de transmisión (W/m²K)				F_S	Factor de sombra				
FM	Fracción de marco				F_H	Factor solar modificado				
Pa	Permeabilidad al aire de la carpintería				R_w	Valores de aislamiento acústico (dB)				
C_M	Color del marco (absortividad)									

Puertas			
Material		U_{Puerta}	g^{\wedge}
Puerta de cristal (x2)		2.50	0.50
Puerta metálica (x3)		5.70	
Abreviaturas utilizadas			
$El_2 \text{ †-C5}$	Resistencia al fuego en minutos	g^{\wedge}	Factor solar
U_{Puerta}	Coficiente de transmisión (W/m^2K)	R_w (C; C_{tr})	Valores de aislamiento acústico (dB)

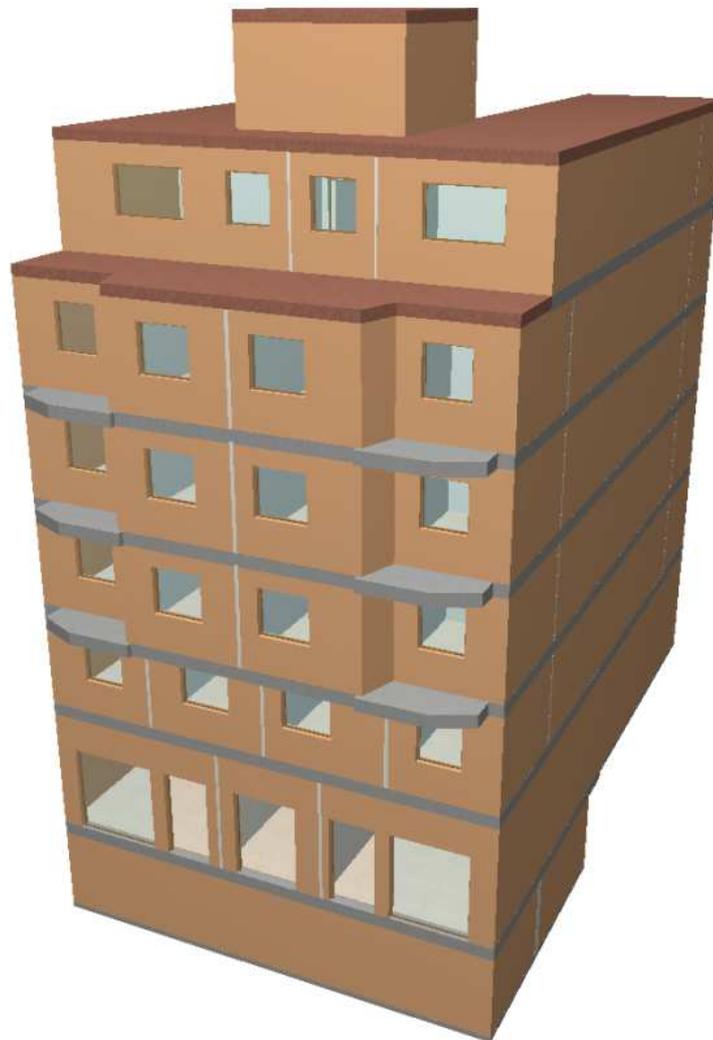


Fig. 56 imagen virtual del edificio

4.7.5 Sistema de compartimentación interior

Tanto las particiones verticales interiores (muros de carga y tabiques [Tabla 27], como los forjados interiores entre pisos [Tabla 28] y los huecos existentes entre estos [Tabla 29] a pesar de contar con la preceptiva descripción constructiva, no serán decisivos en el cálculo energético al permitir flujo de calor a su través.

Tabla 27. Definición constructiva muros de carga y tabiques interiores

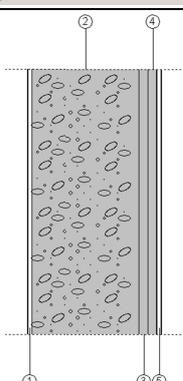
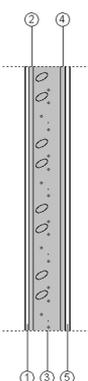
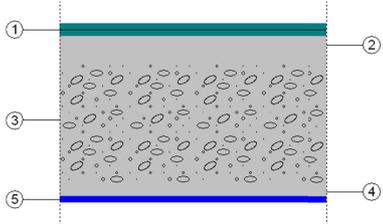
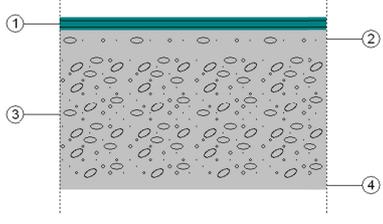
Muro Carga		Superficie total 143.38 m ²
	Listado de capas: 1 - acabado interior 1 cm 2 - 1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 24 cm 60 mm 3 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 2 cm 4 - Enlucido de yeso 1000 < d < 1300 2 cm 5 - acabado interior 1 cm Espesor total: 30 cm	
Limitación de demanda energética	U _m : 1.37 W/m ² K	
Protección frente al ruido	Masa superficial: 368.80 kg / m ² Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 55.2 dBA	
Tabique Interior		Superficie total 908.28 m ²
	Listado de capas: 1 - acabado interior 1 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 1 cm 3 - Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm] 6 cm 4 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 1 cm 5 - acabado interior 1 cm Espesor total: 10 cm	
Limitación de demanda energética	U _m : 2.10 W/m ² K	
Protección frente al ruido	Masa superficial: 108.30 kg / m ² Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 38.8 dBA	

Tabla 28. Definición constructiva de forjados

En15 - Forjado Entrepisos - S.MC		Superficie total 743.57 m ²
	Listado de capas: 1 - Plaqueta o baldosa cerámica 3 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 4 cm 3 - FU Entrevigado cerámico -Canto 300 mm 30 cm 4 - Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm 5 - Enlucido de yeso d < 1000 1.5 cm Espesor total: 40.5 cm	
	Limitación de demanda energética U (flujo descendente): 1.17 W/m ² K U (flujo ascendente): 1.40 W/m ² K (forjado expuesto a la intemperie, U: 1.53 W/m ² K)	
Protección frente al ruido Masa superficial: 491.50 kg / m ² Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 59.7 dBA Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, L _{n,w} : 69.8 dB		
Forjado Entrepisos - S.MC		Superficie total 39.82 m ²
	Listado de capas: 1 - Plaqueta o baldosa cerámica 3 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250 4 cm 3 - FU Entrevigado cerámico -Canto 300 mm 30 cm 4 - Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm Espesor total: 39 cm	
	Limitación de demanda energética U (flujo descendente): 1.22 W/m ² K U (flujo ascendente): 1.48 W/m ² K (forjado expuesto a la intemperie, U: 1.62 W/m ² K)	
Protección frente al ruido Masa superficial: 478.00 kg / m ² Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 59.3 dBA Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, L _{n,w} : 70.2 dB		

T01.MW - Forjado Entrepisos - S.MC		Superficie total 171.11 m ²
	Listado de capas: 1 - Plaqueta o baldosa cerámica 3 cm 2 - Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 4 cm 1000 < d < 1250 3 - FU Entrevigado cerámico -Canto 300 mm 30 cm 4 - Plaqueta o baldosa cerámica 2 cm 5 - Cámara de aire sin ventilar 30 cm 6 - MW Lana mineral [0.04 W/[mK]] 2 cm 7 - Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900 1.5 cm Espesor total: 72.5 cm	
	Limitación de demanda energética U (flujo descendente): 0.65 W/m ² K U (flujo ascendente): 0.71 W/m ² K (forjado expuesto a la intemperie, U: 0.74 W/m ² K)	
Protección frente al ruido	Masa superficial: 491.18 kg / m ² Masa superficial del elemento base: 478.00 kg / m ² Índice global de reducción acústica, ponderado A, R _A : 59.3 dBA Mejora del índice global de reducción acústica, ponderado A, debida al techo suspendido, ΔR _A : 7 dBA Nivel global de presión de ruido de impactos normalizado, L _{n,w} : 70.2 dB Reducción del nivel global de presión de ruido de impactos, debida al techo suspendido, ΔL _{d,w} : 9 dB	

Tabla 29. Definición constructiva puertas interiores

Puertas			
Material			U _{Puerta}
Puerta metálica (x8)			5.70
Puerta de madera (x92)			2.20
Abreviaturas utilizadas			
El ₂ t-C5	Resistencia al fuego en minutos	R _w (C;C _{tr})	Valores de aislamiento acústico (dB)
U _{Puerta}	Coefficiente de transmisión (W/m ² K)		

4.7.6 Materiales

En la tabla 30 se enumerarán los materiales empleados en la construcción del edificio

Tabla 30. Definición constructiva materiales

Capas						
Material	e	d	Cd	RT	Cp	Fr
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	24	1220	0.667	0.36	1000	10
1 pie LP métrico o catalán 40 mm < G < 60 mm	48	1220	0.667	0.72	1000	10
1/2 pie LP métrico o catalán 60 mm < G < 80 mm	11.5	1020	0.567	0.203	1000	10
acabado interior	1	1500	0.5	0.02	1000	10000
Arena y grava [1700 < d < 2200]	10	1450	2	0.05	1050	50
Enlucido de yeso 1000 < d < 1300	2	1150	0.57	0.0351	1000	6
Enlucido de yeso d < 1000	1.5	900	0.4	0.0375	1000	6
FU Entrevigado cerámico -Canto 300 mm	30	1110	0.846	0.355	1000	10
FU Entrevigado de hormigón -Canto 300 mm	30	1240	1.42	0.211	1000	80
Hormigón armado d > 2500	15	2600	2.5	0.06	1000	80
Hormigón armado d > 2500	20	2600	2.5	0.08	1000	80
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	1	1125	0.55	0.0182	1000	10
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	2	1125	0.55	0.0364	1000	10
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	4	1125	0.55	0.0727	1000	10
Mortero de cemento o cal para albañilería y para revoco/enlucido 1000 < d < 1250	5	1125	0.55	0.0909	1000	10

Capas						
Material	e	d	Cd	RT	Cp	Fr
MW Lana mineral [0.04 W/[mK]]	2	40	0.041	0.488	1000	1
Mármol [2600 < d < 2800]	3	2700	3.5	0.00857	1000	10000
Placa de yeso laminado [PYL] 750 < d < 900	1.5	825	0.25	0.06	1000	4
Plaqueta o baldosa cerámica	2	2000	1	0.02	800	30
Plaqueta o baldosa cerámica	3	2000	1	0.03	800	30
Polipropileno [PP]	2	910	0.22	0.0909	1800	10000
Tabicón de LH doble [60 mm < E < 90 mm]	6	930	0.432	0.139	1000	10
Abreviaturas utilizadas						
e	Espesor (cm)		RT	Resistencia térmica (m ² K/W)		
d	Densidad (kg/m ³)		Cp	Calor específico (J/kgK)		
Cd	Conductividad (W/mK)		Fr	Factor de resistencia a la difusión del vapor de agua		

Vidrios		
Material	U _{Vidrio}	g _□
Acristalamiento doble con cámara de aire (4/6/4 mm)	3.30	0.76
Abreviaturas utilizadas		
U _{Vidrio}	Coeficiente de transmisión (W/m ² K)	
g _□	Factor solar	

Marcos	
Material	U _{Marco}
Metálico	5.70
Abreviaturas utilizadas	
U _{Marco}	Coeficiente de transmisión (W/m ² K)

4.7.7 Puentes térmicos

Por último, será necesario establecer los valores que el C.T.E. en su Documento Básico DB-HE3, en el que se definen valores para los diferentes puentes térmicos existentes en función de su naturaleza [Tabla 31]

Tabla 31. Definición puentes térmicos [CTE DB HE3]

Puentes térmicos lineales		
Nombre	TI	F _{Rsi}
Fachada en esquina vertical saliente	0.13	0.79
Fachada en esquina vertical entrante	0.13	0.91
Forjado en esquina horizontal saliente	0.29	0.77
Forjado entre pisos	0.16	0.83
Ventana en fachada	0.14	0.69
Abreviaturas utilizadas		
TI	Transmitancia lineal (W/mK)	F _{Rsi} Factor de temperatura de la superficie interior

Capítulo 5: Resultados y discusión de los mismos

5.1 Elaboración e interpretación fichas de medición trabajo de campo

The image shows a screenshot of a data collection form titled 'HOJA DE TOMA DE DATOS CLIMATOLÓGICOS'. The form includes fields for 'Entorno' (Calle Alcalá acera impares), 'Investigador' (Pérez Santiago; Tamara), 'Fecha' (13 Agosto 2013), and 'Hora' (9:30). Below these is a table with 10 columns: Nº, Localización, Cota Planimétrica, Temperatura °C, Humedad relativa %, Velocidad del viento m/s, Presión Barométrica hPa, Altitud, Distancia tramo, and Distancia acumulada. The table contains 20 rows of data. At the bottom, there are summary rows for 'Media', 'Media Histórica', and 'Incremento'. Red boxes with numbers 1-14 and arrows point to various elements: 1 points to the environment field, 2 to the investigator field, 3 to the date field, 4 to the time field, 5 to the first row of the table, 6 to the 'Nº' column header, 7 to the 'Localización' column header, 8 to the 'Media' row, 9 to the 'Media Histórica' row, 10 to the 'Incremento' row, 11 to the 'Temperatura' column, 12 to the 'Humedad' column, 13 to the 'Velocidad' column, and 14 to the 'Presión' column.

Nº	Localización	Cota Planimétrica	Temperatura °C	Humedad relativa %	Velocidad del viento m/s	Presión Barométrica hPa	Altitud	Distancia tramo	Distancia acumulada
1	414	697,16	22,70	39,80	0,40	939,20	700,00	210,54	210,54
2	394	695,16	22,40	40,60	0,50	939,50	698,12	208,32	418,86
3	374	692,30	22,30	42,10	0,70	939,40	696,23	209,37	628,23
4	354	691,79	21,80	42,50	1,00	939,50	696,56	191,00	819,23
5	334	692,32	21,30	45,30	0,90	940,30	696,32	152,40	971,63
6	314	687,77	21,40	43,10	0,90	940,20	678,15	219,57	1.191,20
7	294	684,22	20,60	42,90	0,70	940,70	673,12	224,68	1.415,88
8	274	679,15	20,20	42,40	0,90	939,70	669,58	207,47	1.623,35
9	254	672,12	20,80	40,60	0,70	941,20	668,53	114,35	1.737,70
10	234	662,26	22,50	40,20	0,60	940,10	659,63	242,97	1.980,67
11	214	657,98	20,60	39,40	1,00	941,20	649,25	533,87	2.514,54
12	194	654,24	22,00	40,60	0,90	940,60	648,68	133,86	2.648,40
13	174	671,10	21,50	44,20	0,60	940,60	643,52	156,10	2.804,50
14	154	676,64	21,60	44,70	1,00	939,20	641,52	115,00	2.919,50
15	134	681,30	21,20	42,90	0,60	937,50	640,78	378,24	3.297,74
16	114	682,69	21,60	42,40	0,70	936,80	638,13	238,36	3.528,10
17	94	676,32	20,00	40,50	1,00	939,50	637,54	404,50	3.932,60
18	74	673,90	20,80	35,60	0,40	940,00	636,89	245,67	4.178,27
19	54	670,61	20,60	37,60	0,80	942,30	635,87	382,36	4.560,63
20	34	657,08	20,10	38,00	0,60	942,20	633,01	772,35	5.332,98
Media		677,8555	21,3	41,27	0,745	939,985	662,715	5332,98	
Media Histórica									
Incremento			2,7	9,7	0,6	5,5	66,99		

Fig. 56 Ficha mediciones trabajo de campo

Los datos registrados en cada punto se reflejan en tablas como las de la figura, en las que se consigna:

1. Localización en el entorno de estudio: dentro del proyecto de investigación 'Nanoclimas Urbanos' se estudiaban más calles, por lo que en este apartado veremos a qué acera de la calle Alcalá se refieren las mediciones, si a la par o a la impar;
2. Nombre del autor de las mediciones;
3. Fecha de la medición;
4. Hora de la medición;

5. Localización del punto de medición en la calle Alcalá identificado por el número de portal;
6. Altitud del punto de medición [Plan General de Ordenación Urbana de Madrid,2009] en metros;
7. Temperatura en el punto de medición en °C;
8. Humedad relativa en el punto de medición en %;
9. Velocidad del viento en el punto de medición en m/s;
10. Presión barométrica en el punto de medición en hPa;
11. Altitud del punto según instrumento de medición en metros;
12. Distancia entre puntos de medición en tramo de estudio en metros;
13. Distancia acumulada desde el origen de la medición;
14. Incrementos o máximas diferencias entre mediciones.

Llegado este punto, se obtendrán dos mediciones semanales de cada punto a una misma hora, lo que lleva a ocho mediciones mensuales y noventa y seis anuales. Esta base de datos climática anual, si bien no responde a un período clínico de medias de temperaturas de al menos 30 años, servirá para evidenciar los incrementos de temperatura existentes en un entorno de estudio a escala casi de manzana urbana.

A partir de los datos de las fichas de mediciones se calculan los siguientes valores:

- Temperatura media anual;
- Temperatura máxima anual;
- Temperatura mínima anual;
- Temperatura media anual;
- Temperatura media de las máximas anuales;
- Temperatura media mínima de las mínimas anuales;
- Humedad relativa media anual;
- Humedad relativa máxima anual;
- Humedad relativa mínima anual;
- Humedad relativa anual;

- Humedad relativa de las máximas anuales;
- Humedad relativa mínima de las mínimas anuales.

Una vez registradas todas las fichas de medición de trabajo de campo, se analizarán las mismas extrayendo la información necesaria para su introducción en los programas de simulación energética de cara a obtener las cargas térmicas del modelo arquitectónico conforme a la nueva base de datos climática obtenida.

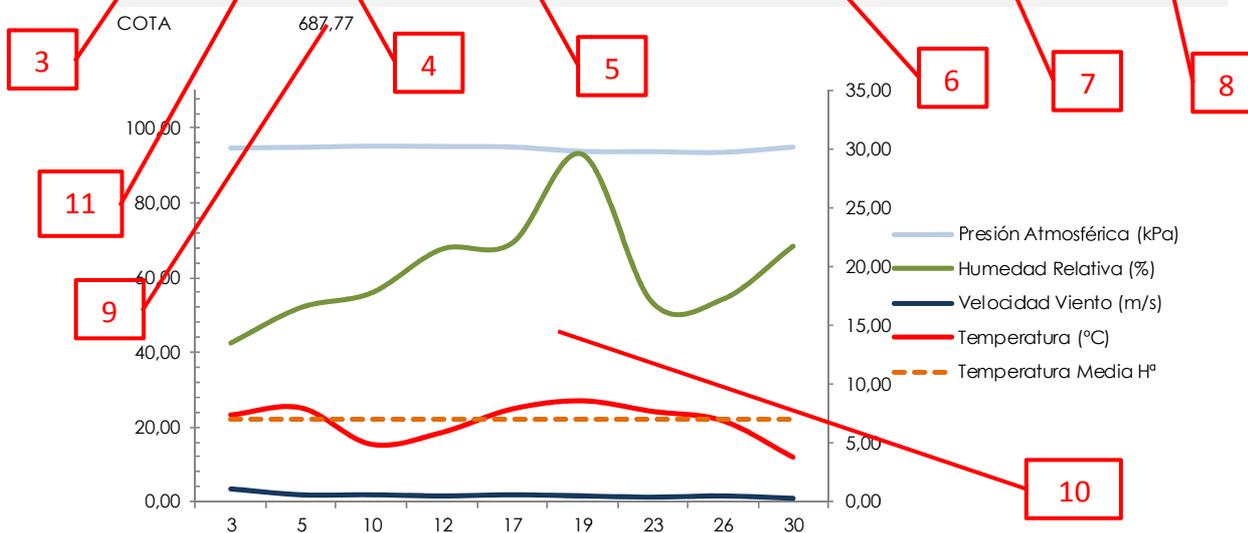
Los datos necesarios a introducir en el software de cálculo serán:

- Latitud
- Temperatura Seca en Verano
- Temperatura Húmeda en Verano 19,30 °C
- Oscilación media diaria (Diferencia entre temperatura seca y húmeda en verano)
- Temperatura Seca en Invierno
- Humedad Relativa en invierno
- Temperatura del Terreno(5,00 °C) tomada como dato histórico

En este extracto de información se distinguirá:

Tabla 32. Tabla resumen trabajo de campo

TRABAJO DE CAMPO		TOMA DE DATOS CLIMATOLOGICOS C/ ALCALÁ - MADRID				A01
MES	DICIEMBRE 2013	40° 25' 59" N 3° 38' 57" O				
DIA	TEMPERATURA (°C)	HUMEDAD RELATIVA (%)	VELOCIDAD VIENTO (m/s)	PRESIÓN ATMOSF. (kPa)	MED TEMP Hª	
3	7,40	42,50	1,10	94,67	7,00	
5	8,00	52,00	0,60	94,89	7,00	
10	4,90	55,90	0,60	95,19	7,00	
12	5,90	67,60	0,50	95,08	7,00	
17	7,90	69,20	0,60	94,94	7,00	
19	8,60	93,00	0,50	93,77	7,00	
23	7,70	53,30	0,40	93,71	7,00	
26	6,90	54,20	0,50	93,32	7,00	
30	3,80	68,40	0,30	94,92	7,00	
MEDIA	6,79	61,79	0,57	94,52	7,00	



En estas fichas resumen de trabajo de campo se consignan los siguientes apartados

1. Identificación del punto de medición;
2. Mes de la medición;
3. Día de la medición;
4. Temperatura registrada en el punto de medición en °C;
5. Humedad relativa registrada en el punto de medición en %;
6. Velocidad del viento registrada en el punto de medición en m/s;
7. Presión atmosférica registrada en el punto de medición en hPa;
8. Temperatura media histórica en °C;
9. Cota del punto de medición en metros;
10. Gráfico de datos introducidos;
11. Media aritmética de los datos obtenidos.

5.2 Resumen y análisis trabajo de campo

Analizando toda esta base de datos climática generada en un año, se extraer las siguientes tablas resumen de temperaturas medias. En ella se reflejarán los incrementos de temperatura media [Tabla 33] [Tabla 35], temperatura máxima y mínima [Tabla 34] [Tabla 36], y humedad relativa en verano e invierno [Tabla 39] [Tabla 40], registrados en los puntos de estudio.

Tabla 33. Resumen temperatura medias en verano

RESUMEN TEMPERATURAS MEDIAS VERANO C/ ALCALÁ - MADRID					R01a
VERANO		21 de junio al 20 septiembre			
POSIC	Tm JUNIO	Tm JULIO	Tm AGOSTO	Tm SEPTIEMBRE	Tm TOTAL
A1	21,35	25,34	23,26	22,78	23,18
A2	19,30	23,72	24,76	22,78	22,64
B1	21,06	25,61	23,64	22,93	23,31
B2	19,50	24,74	24,21	22,00	22,61
C1	21,13	27,50	23,06	21,97	23,41
C2	21,80	26,34	23,83	22,28	23,56
ΔT	2,50	3,78	1,70	0,96	0,95

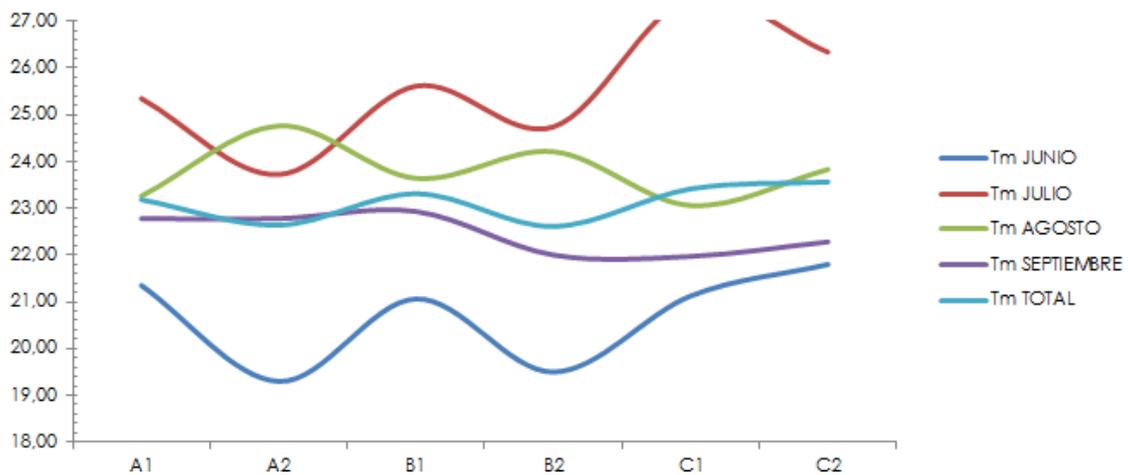
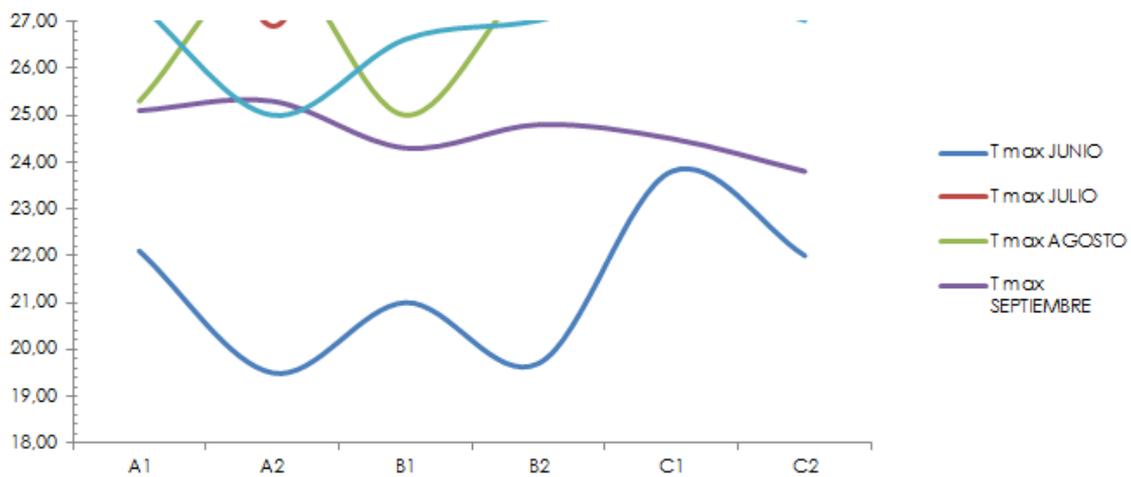


Tabla 34. Resumen temperaturas máximas en verano

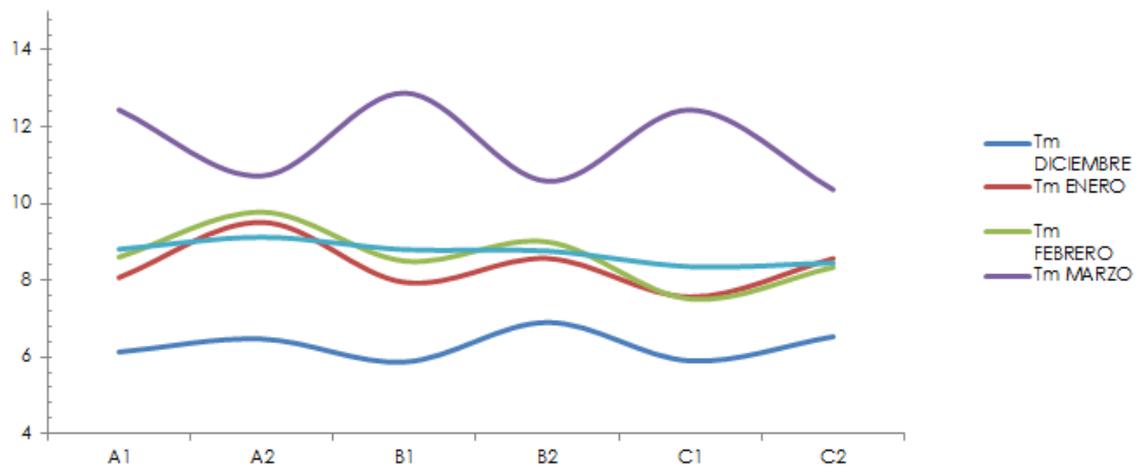
RESUMEN TEMPERATURAS MAXIMAS VERANO C/ ALCALÁ - MADRID					R01b
VERANO	21 de junio al 20 septiembre				
POSIC	T max JUNIO	T max JULIO	T max AGOSTO	T max SEPTIEMBRE	T max TOTAL
A1	22,10	37,00	25,30	25,10	27,38
A2	19,50	26,90	28,30	25,30	25,00
B1	21,00	36,20	25,00	24,30	26,63
B2	19,70	35,70	27,90	24,80	27,03
C1	23,80	35,70	27,20	24,50	27,80
C2	22,00	35,20	27,10	23,80	27,03
ΔT	4,30	10,10	3,30	1,50	2,80



En este cuadro se puede comprobar una variación en las temperaturas máximas en verano de hasta 4°C en el entorno de estudio. Si se es consciente de la escala urbana estudiada, este dato puede ser muy revelador. Considerando sólo el incremento de las temperaturas medias (2,50°C), el impacto en la demanda de cargas térmicas puede ser considerable.

Tabla 35. Resumen temperaturas medias en invierno

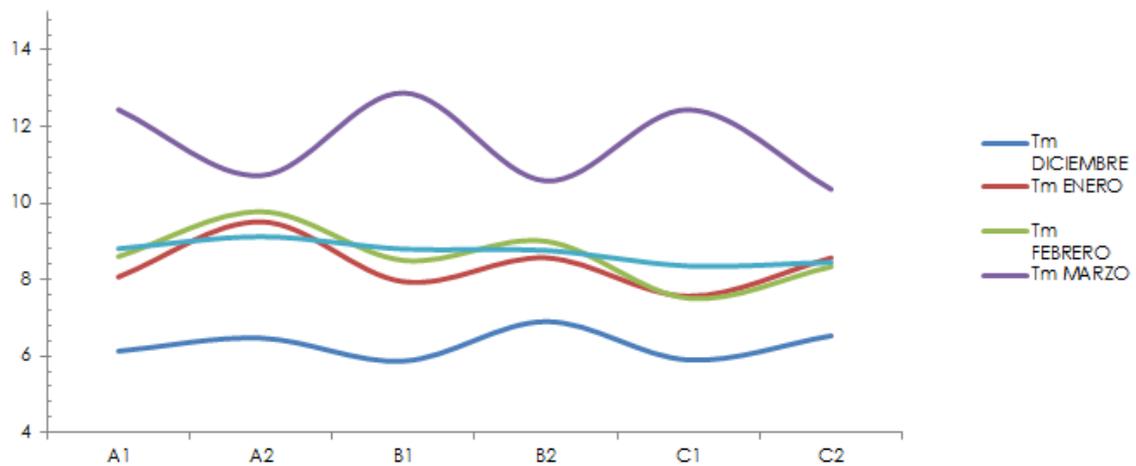
RESUMEN TEMPERATURAS MEDIAS INVIERNO C/ ALCALÁ - MADRID					R02a
INVIERNO					21 de diciembre al 20 marzo
POSIC	Tm DICIEMBRE	Tm ENERO	Tm FEBRERO	Tm MARZO	Tm TOTAL
A1	6,13	8,07	8,60	12,44	8,81
A2	6,47	9,51	9,78	10,72	9,12
B1	5,87	7,94	8,50	12,88	8,80
B2	6,90	8,57	9,00	10,58	8,76
C1	5,90	7,57	7,51	12,44	8,35
C2	6,53	8,57	8,34	10,36	8,45
ΔT	1,03	1,94	2,26	2,52	0,76



En invierno, sin embargo, se observa un incremento menor (no más de dos grados y medio en marzo), debido al menor ángulo de incidencia de la radiación solar en esta época del año (pasamos de 72° en verano a 41° en invierno) [FARIÑA TOJO, J.; 2007] [FARIÑA TOJO, J.; 2010]. Es importante destacar que también existen otros factores determinantes en la variación de temperatura en los puntos medidos, como son la vegetación existente, el albedo, materiales empleados en fachadas y pavimentos, reflectancia de los paramentos, si bien no se estudian en este caso las causas sino las consecuencias en la medición de temperatura final.

Tabla 36. Resumen temperaturas mínimas en verano

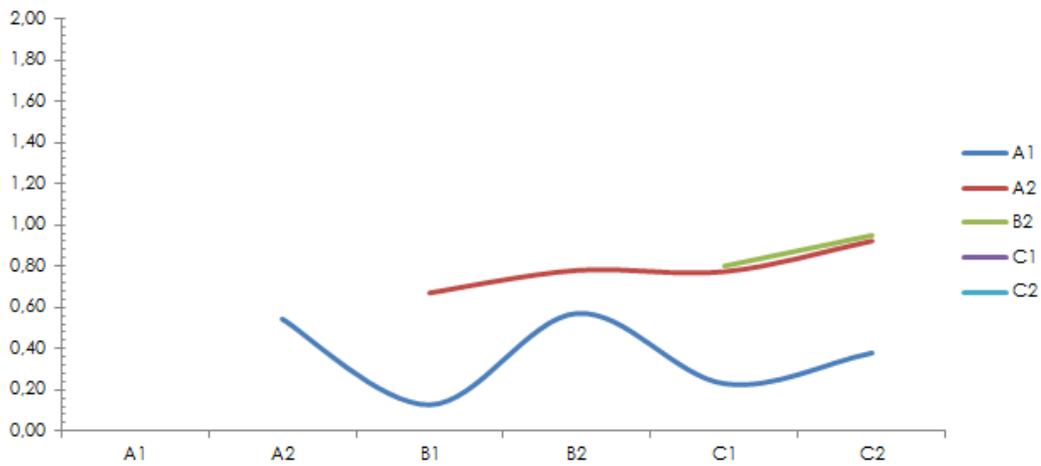
RESUMEN TEMPERATURAS MINIMAS INVIERNO C/ ALCALÁ - MADRID					R02b
INVIERNO					21 de diciembre al 20 marzo
POSIC	T min DICIEMBRE	T min ENERO	T min FEBRERO	T min MARZO	Tm min TOTAL
A1	3,80	5,80	2,10	2,10	3,45
A2	5,30	8,50	7,50	10,00	7,83
B1	3,60	5,40	2,60	9,50	5,28
B2	6,30	6,40	6,90	6,40	6,50
C1	4,00	5,50	2,30	10,50	5,58
C2	6,30	6,20	5,70	6,90	6,28
ΔT	2,70	3,10	5,40	8,40	4,38



Los incrementos entre temperatura mínimas en invierno ($2,70^{\circ}\text{C}$) y el de las temperaturas medias en dicha estación ($1,03^{\circ}\text{C}$) incidirán también de forma notable en la demanda de cargas térmicas a calefacción del conjunto

Tabla 37. Resumen incrementos de temperatura detectados verano

INCREMENTOS DE TEMPERATURA ENTRE PUNTOS DE ESTUDIO VERANO C/ ALCALÁ - MADRID							R03
VERANO							21 de junio al 20 septiembre
POSIC.	A1	A2	B1	B2	C1	C2	
A1							
A2	0,54						
B1	0,13	0,67					
B2	0,57	0,78	0,70				
C1	0,23	0,77	0,10	0,80			
C2	0,38	0,92	0,25	0,95	0,15		
ΔT	0,44	0,25	0,60	0,15	0,00	0,00	



En estas dos tablas siguientes se comprueban los incrementos de temperatura detectados tanto en verano (fig. 37) como en invierno (fig. 38)

Tabla 38. Resumen incrementos de temperatura detectados en invierno

INCREMENTOS DE TEMPERATURA ENTRE PUNTOS DE ESTUDIO INVIERNO C/ ALCALÁ - MADRID							R04
INVIERNO							21 de diciembre al 20 marzo
POSIC.	A1	A2	B1	B2	C1	C2	
A1							
A2	0,31						
B1	0,01	0,32					
B2	0,05	0,36	0,04				
C1	0,45	0,76	0,44	0,41			
C2	0,36	0,67	0,35	0,31	0,09		
ΔT	0,44	0,44	0,41	0,09	0,00	0,00	

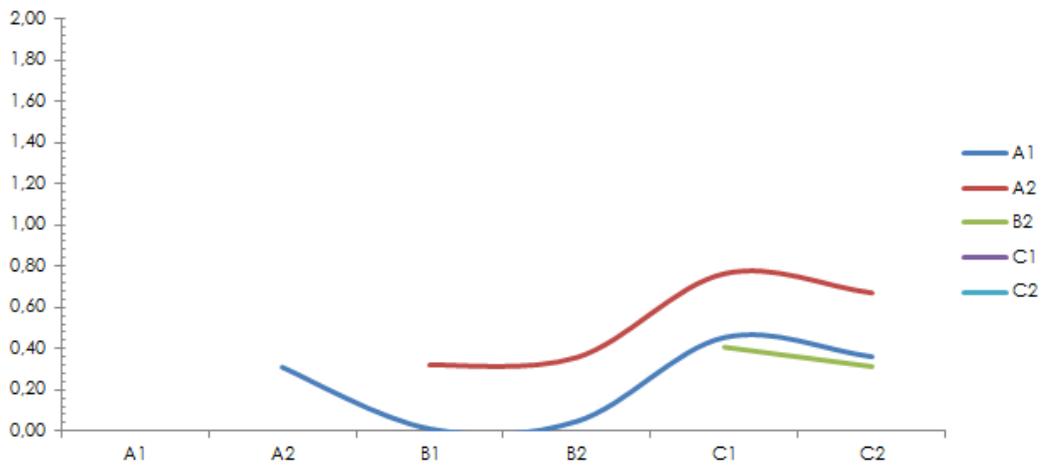


Tabla 39. Resumen humedad relativa media en verano

RESUMEN HUMEDAD RELATIVA MEDIA VERANO C/ ALCALÁ - MADRID					R05
VERANO		21 de junio al 20 septiembre			
POSIC.	HR JUNIO	HR JULIO	HR AGOSTO	HR SEPTIEMBRE	HR TOTAL
A1	61,65	41,52	39,94	45,80	47,23
A2	42,50	41,72	41,58	22,78	37,15
B1	41,15	41,09	41,82	45,83	42,47
B2	19,50	41,50	42,08	45,02	37,02
C1	39,90	40,80	41,07	44,42	41,55
C2	47,65	45,81	45,81	43,55	45,71
ΔHR	42,15	5,01	5,87	23,05	10,21

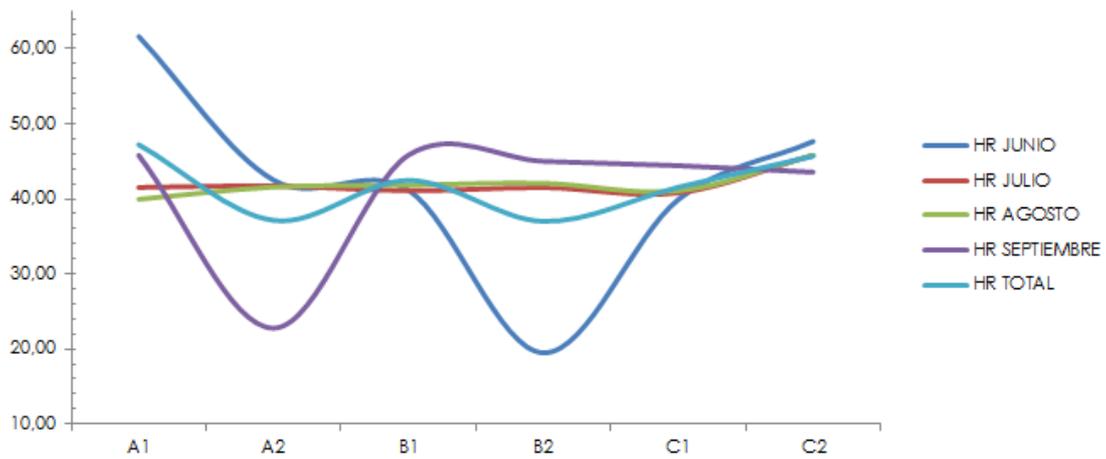
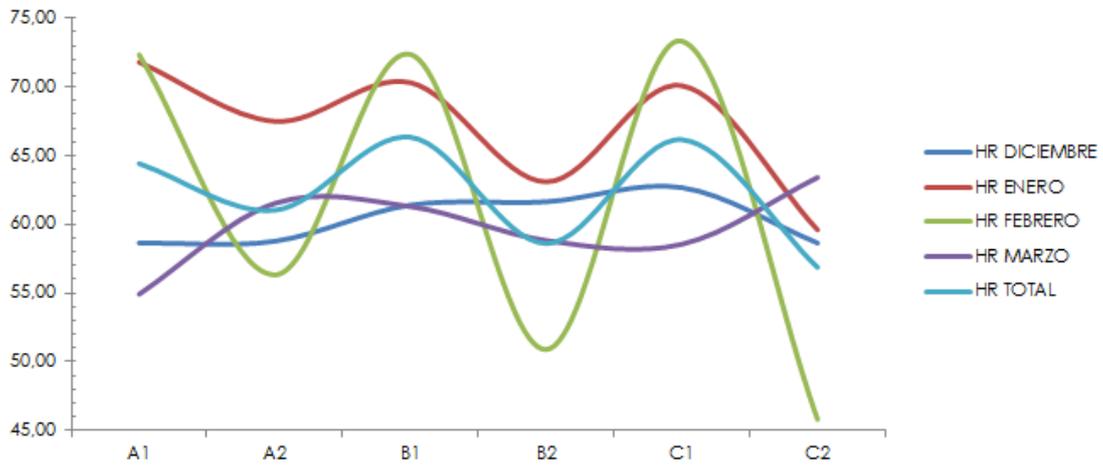


Tabla 40. Resumen humedad relativa media en invierno

RESUMEN HUMEDAD RELATIVA MEDIA INVIERNO C/ ALCALÁ - MADRID					R06
INVIERNO					21 de diciembre al 20 marzo
POSIC.	HR DICIEMBRE	HR ENERO	HR FEBRERO	HR MARZO	HR TOTAL
A1	58,63	71,79	72,33	54,91	64,41
A2	58,77	67,49	56,31	61,52	61,02
B1	61,40	70,30	72,36	61,28	66,34
B2	61,63	63,09	50,89	58,82	58,61
C1	62,67	70,08	73,33	58,54	66,15
C2	58,63	59,59	45,81	63,40	56,86
ΔHR	4,03	12,20	27,51	8,49	9,48



Valores como los de humedad relativa (máxima, media y mínima) que tendrán mucha incidencia en el confort térmico a considerar, serán introducidos en las diferentes simulaciones con el fin de obtener las distintas cargas térmicas para cada caso.

Tabla 41. Resumen temperatura húmeda en verano

CALCULO TEMPERATURA HUMEDA VERANO C/ ALCALÁ - MADRID					R07
VERANO		21 de diciembre al 20 marzo			
POSIC.	Período Verano	HR	Período Verano	Temperatura Media de Máximas	Temperatura Bulbo Húmedo Tbh= (-430+237*Ln(E))/(-Ln(E)+19)
				Es (Temperatura Saturación vapor) Es=6,11*10*(7,5T/(238+T))	E (Presión Real de Vapor) E=(HR*Es)/100
A1	27,38	47,23	47,27	2.232,58	19,30
A2	25,00	37,15	43,56	1.618,07	15,70
B1	26,63	42,47	46,11	1.958,31	17,80
B2	27,03	37,02	46,73	1.730,06	17,20
C1	27,80	41,55	47,93	1.991,22	18,70
C2	27,03	45,71	46,73	2.135,78	18,80

Dónde

$$Es = 6,11 \cdot 10 \cdot (7,5T / (238 + T)) \quad [4.1]$$

$$E = (HR \cdot Es) / 100 \quad [4.2]$$

Dónde,

- Temperatura bulbo húmedo: Tbh
- Temperatura media de las máximas: T
- Temperatura saturación vapor: Es
- Presión real de vapor: E
- Humedad Relativa media en verano: HR

Al ser necesario el cálculo de la "temperatura húmeda" en verano de cara a realizar el cálculo de cargas térmicas, las obtenemos a partir de la siguiente expresión:

$$Tbh = (-430 + 237 \cdot \ln(E)) / (-\ln(E) + 19) \quad [4.3]$$

De esta forma se obtienen en la hoja de cálculo los valores buscados de cara a introducirlos en el software de cálculo.

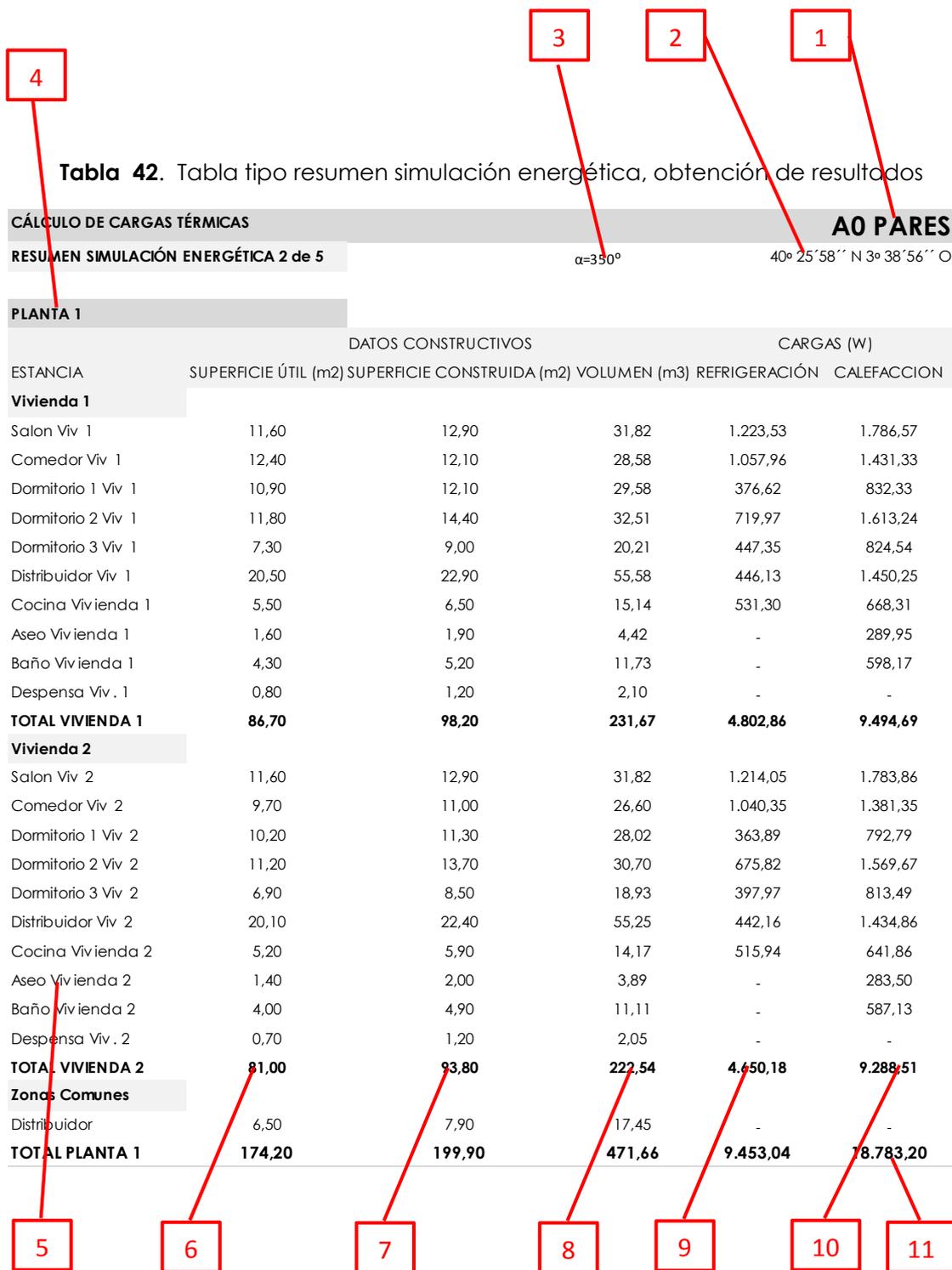
5.3 Generación de resultados.

Simulación conforme a base climática actual y ubicación real del modelo (situación en punto A0, c/ Alcalá, 308)

Una vez sentadas las bases geométricas del modelo en cuestión, es necesario conocer la realidad energética actual del edificio, en cuanto a cargas térmicas del mismo, en los períodos del año más desfavorables (invierno y verano). Se simulará el edificio situado en la c/ Alcalá, 308, con las coordenadas $40^{\circ} 25' 58''$ N $3^{\circ} 38' 56''$ O y $\alpha = 350^{\circ}$ (azimut)

Conocidos así los valores normales, de acuerdo a la base climática existente, se simulará el mismo edificio en las diferentes ubicaciones y orientaciones propuestas conforme a los nuevos datos climáticos obtenidos. Se toma conciencia en todo momento de que no será real la comparación de los valores obtenidos en esta simulación con la de las nuevas ubicaciones (según valores obtenidos en el trabajo de campo). La medición de campo responde únicamente a un período de doce meses, sabiendo que, para certificar una validez de una base de datos climática, es necesario que las medias de temperaturas y demás valores atiendan a períodos clino de los últimos treinta años. Se dejará esta simulación a modo de referencia, ya que lo que interesa en esta investigación son las comparaciones entre los resultados de las nuevas ubicaciones, no en cuanto a valores se refiere, sino en cuanto a incrementos de temperatura y cargas térmicas.

Se consultan así metodologías de cálculo empleadas en estudios similares con el fin de egenerar una tabla de resultados cotejable con las ya existentes y poder así extraer conclusiones plausibles de la realidad física estudiada [BRÖDE, P., 2011] [BRUSE, M.; 2004] [DEFRAEYE, T.; 2010] [ERELL, E.; 2006] [GADSDEN, S; 2013] [GULYÁS, Á.; 2006] [IDCZAK, M. 2010].



Los resultados obtenidos en la simulación se reflejan en “tablas resumen de simulación energética” como las de la figura, en las que se consigna:

1. Localización virtual del edificio coincidente con los puntos de medición del trabajo de campo;
2. Coordenadas cartográficas de la ubicación virtual;

3. Azimut (orientación de la hipotética línea normal a fachada principal);
4. Nivel o planta del edificio de referencia;
5. Estancia interior del edificio simulada energéticamente;
6. Superficie útil de la estancia en metros cuadrados (m²);
7. Superficie construida de la estancia en metros cuadrados (m²);
8. Volumen de la estancia en metros cúbicos (m³);
9. Carga térmica para refrigeración de la estancia en Vatios (W);
10. Carga térmica para calefacción de la estancia en Vatios (W);
11. Totales.

De todas las tablas de resultados obtenidas, y que figuran en el Anexo C de la presente Tesis, se realizarán tablas resumen de resultados con sumas de superficies útiles, construidas, volumen total y cargas totales para refrigeración y calefacción para el edificio completo en la ubicación elegida [Tabla 43]

Tabla 43. Tabla tipo resumen resultados cargas térmicas edificio

TOTAL MODELO A0					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO A0	1.117,50	1.301,20	3.203,57	51.162,27	91.269,63

La tabla resumen de resultados de cargas térmicas en el edificio se desgana de la siguiente manera: Identificación del edificio en su ubicación virtual;

1. Total superficie útil del edificio en metros cuadrados (m²);
2. Total superficie construida del edificio en metros cuadrados (m²);
3. Total volumen edificio en metros cúbicos (m³);
4. Total carga para refrigeración en el edificio en Vatios (W);
5. Total carga para calefacción en el edificio en Vatios (W)

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación A1 (c/Alcalá, 331)

Se simulará ahora el modelo virtual elegido en la ubicación A1 (coincidente con la ubicación justo enfrente real del edificio, Alcalá 331) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 44]

Tabla 44. Datos climáticos empleados en simulación punto A1

LOCALIZACION	A1
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	27,38 °C
Temperatura Húmeda en Verano	19,30 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	3,45 °C
Humedad Relativa en invierno	64,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 45]

Tabla 45. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto A1

TOTAL MODELO A1					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO A1	1.117,50	1.301,20	3.203,57	34.636,88	70.429,38

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación A2 (calle Alcalá, 308)

Se simulará el modelo virtual elegido en la ubicación A2 (coincidente con la localización real del edificio, Alcalá 308) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 46].

Tabla 46. Datos climáticos empleados en simulación punto A2

LOCALIZACION	A2
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	25,00 °C
Temperatura Húmeda en Verano	15,70 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	7,83 °C
Humedad Relativa en invierno	61,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 47]

Tabla 47. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto A2

TOTAL MODELO A2					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO A2	1.117,50	1.301,20	3.203,57	18.998,30	54.893,38

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación B1 (calle Alcalá, 225)

Se simulará el modelo virtual elegido en la ubicación B1 (coincidente con la ubicación del edificio, Alcalá 225) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 48].

Tabla 48. Datos climáticos empleados en simulación punto B1

LOCALIZACION	B1
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	26,63 °C
Temperatura Húmeda en Verano	17,08 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	5,28 °C
Humedad Relativa en invierno	66,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 49]

Tabla 49. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto B1

TOTAL MODELO B1					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO B1	1.117,50	1.301,20	3.203,57	29.197,49	65.167,50

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación B2 (calle Alcalá, 192)

Se simulará el modelo virtual elegido en la ubicación B2 (coincidente con la ubicación del edificio, Alcalá 192) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 50].

Tabla 50. Datos climáticos empleados en simulación punto B2

LOCALIZACION	B2
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	27,03 °C
Temperatura Húmeda en Verano	17,20 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	6,50 °C
Humedad Relativa en invierno	59,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 51]

Tabla 51. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto B2

TOTAL MODELO B2					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO B2	1.117,50	1.301,20	3.203,57	27.669,36	61.529,78

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación C1 (calle Alcalá, 119)

Se simulará el modelo virtual elegido en la ubicación C1 (coincidente con la ubicación del edificio, Alcalá 119) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 52].

Tabla 52. Datos climáticos empleados en simulación punto C1

LOCALIZACION	C1
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	27,80 °C
Temperatura Húmeda en Verano	18,50 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	5,58 °C
Humedad Relativa en invierno	66,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 53]

Tabla 53. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto C1

TOTAL MODELO C1					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (W)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCION
TOTAL EDIFICIO C1	1.117,50	1.301,20	3.203,57	34.462,05	64.333,57

Simulación Modelo conforme a base climática de campo y ubicación C2 (calle, 70)

Se simulará ahora nuestro modelo en la ubicación C2 (coincidente con la ubicación del edificio, Alcalá 70) atendiendo a la base de datos medida en trabajo de campo [Tabla 54]

Tabla 54. Datos climáticos empleados en simulación punto C2

LOCALIZACION	C2
Latitud	40,3°
Temperatura Seca en Verano	27,03 °C
Temperatura Húmeda en Verano	18,80 °C
Oscilación media diaria	15,80 °C
Temperatura Seca en Invierno	6,28 °C
Humedad Relativa en invierno	57,00 %
Temperatura del Terreno	5,00 °C

Los resultados de la simulación se muestran en la [Tabla 55]

Tabla 55. Resumen resultados cargas térmicas edificio en simulación punto C2

TOTAL MODELO C2					
ESTANCIA	DATOS CONSTRUCTIVOS			CARGAS (MJ)	
	SUPERFICIE ÚTIL (m ²)	SUPERFICIE CONSTRUIDA (m ²)	VOLUMEN (m ³)	REFRIGERACIÓN	CALEFACCIÓN
TOTAL EDIFICIO C2	1.117,50	1.301,20	3.203,57	31.563,55	62.793,74

5.4 Comparativa de resultados de cargas térmicas

Considerando los resultados obtenidos en las simulaciones anteriores, se procederá a su comparación, con el fin de poder sacar conclusiones al respecto. Como primer paso, y a modo de referencia, se calcularán los incrementos registrados en las cargas térmicas del modelo inicial, para la misma realidad constructiva (situada en la calle Alcalá, 308) pero atendiendo primero a la base climatológica actual (caso A0) y, después, a las base de datos confeccionada a partir de los datos medidos en el trabajo de campo (Caso A2). De esta forma se podrá comprobar si de verdad existe una diferencia significativa entre la base de datos actual y la calculada in situ.

Tabla 56. Comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual atendiendo a base climática actual (caso A0) y base climática medida in situ (caso

A2)

COMPARACIÓN ENERGÉTICA DE PUNTOS DE SIMULACIÓN A0-A2						
CARGAS (W)	A0		A2		ΔP	
	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.
PLANTA SÓTANO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLANTA BAJA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PLANTA 1	9.453,04	18.783,20	3.178,89	8.244,09	-6.274,15	-10.539,11
PLANTA 2	9.658,26	17.349,28	3.671,72	11.274,12	-5.986,54	-6.075,16
PLANTA 3	9.491,64	14.786,78	3.847,70	9.907,80	-5.643,94	-4.878,98
PLANTA 4	10.842,71	18.624,62	3.392,88	11.958,41	-7.449,83	-6.666,21
PLANTA ATICO	11.716,62	21.725,75	4.907,11	13.508,96	-6.809,51	-8.216,79
TOTAL EDIFICIO	51162,27	91269,63	18998,3	54893,38	-32.163,97	-36.376,25

La tabla 56 puede desgranarse de la siguiente manera:

1. Localización del lugar de simulación del modelo virtual conforme a los puntos elegidos;
2. Incrementos de energía detectados;
3. Nivel del edificio en el modelo virtual;

4. Carga de refrigeración en el nivel del edificio definido en el entorno elegido en Vatios (W);
5. Carga de calefacción en el nivel del edificio definido en el entorno elegido en Vatios (W);
6. Incrementos calculados en la carga de refrigeración para el mismo nivel en el mismo entorno definido en Vatios (W);
7. Totales;

A pesar de que los resultados no pueden considerarse como concluyentes al atender a una base climática confeccionada con los datos de un solo año, las diferencias son manifiestas, lo que indica que los resultados son alentadores. Solamente en la comparativa para una situación real del edificio con su modelo constructivo existente, se calcula un descenso en la carga térmica para refrigeración de 32.163,97 W (32,16 kW) y otro de 36.376,25 W (36,38 kW) anuales

Se toma conciencia además de que la posición del edificio en el entorno y su orientación, como aspectos más relevantes, supondrán coeficientes de corrección a estos resultados que pasamos a cuantificar a continuación. La situación en la acera de sombra o de sol en el momento de la medición, vientos dominantes, obstáculos y vegetación existentes... Vendrán a condicionar las condiciones térmicas interiores del edificio. Valores adicionales como el albedo, reflexión de la luz, tráfico, uso de la vía... generarían un estudio aparte que no se considerará aquí (al no buscarse las causas que originan los incrementos en la demanda de energía sino las cantidades en sí mismas)

Se añade aquí un cuadro comparativo de los resultados de las simulaciones obtenidas en cuanto a cargas térmicas de refrigeración y calefacción se refiere. Para poder proponer un porcentaje energético

diferenciador sobre el que hablar, es necesario ponderar los resultados y calcularlos siempre en base a los valores mínimos de los incrementos de temperatura medidos. Este valor medio nos hará conocer una aproximación muy fiable de lo que finalmente se busca como conclusión final.

Tabla 57. Comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual respecto de todas las localizaciones de medición de campo en Vatios (W)

COMPARACIÓN ENERGÉTICA DE PUNTOS DE SIMULACIÓN																
CARGAS (W)	A1		A2		B1		B2		C1		C2		ΔP		%	
	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.		
PLANTA SÓTANO	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PLANTA BAJA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
PLANTA 1	5.955,11	14.469,44	3.178,89	8.244,09	5.004,40	13.380,81	4.840,48	12.762,01	6.088,36	13.208,16	5.709,85	12.889,86	2.909,47	6.225,35	1,92	1,76
PLANTA 2	6.451,20	13.460,45	3.671,72	11.274,12	5.393,65	12.478,11	5.290,54	11.922,78	6.058,17	12.322,69	6.160,74	12.037,90	2.779,48	2.186,33	1,76	1,19
PLANTA 3	6.762,72	11.639,75	3.847,70	9.907,80	5.543,17	10.847,22	5.399,76	9.772,10	6.618,13	10.722,94	5.830,98	10.510,78	2.915,02	1.867,65	1,76	1,19
PLANTA 4	7.269,86	14.364,72	3.392,88	11.958,41	6.232,06	13.289,02	6.047,90	12.674,35	7.528,00	13.118,32	7.149,56	12.800,74	4.135,12	2.406,31	2,22	1,20
PLANTA ATICO	8.197,99	16.495,02	4.907,11	13.508,96	7.024,21	15.172,34	6.090,68	14.398,54	8.169,39	14.961,46	6.712,42	14.554,46	3.290,88	2.986,06	1,67	1,22
TOTAL EDIFICIO	34636,88	70429,38	18998,3	54893,38	29197,49	65167,49	27669,36	61529,78	34462,05	64333,57	31563,55	62793,74	15.638,58	15.536,00	9,32	6,56

Se obtienen pues [Tabla 57], los valores de cargas térmicas para refrigeración y calefacción del edificio de modelo virtual para cada punto de estudio.

Siendo un poco más precisos [Tabla 58], se podrán comprobar los incrementos máximos en demandas de calefacción y refrigeración por plantas del edificio modelo y en total, transcribiendo esas diferencias a porcentajes (unos incrementos entendidos como la diferencia entre el mayor valor y el menor de cargas térmicas para calefacción y refrigeración obtenidos en función del punto de cálculo estudiado)

Tabla 58. Extracto tabla comparativa resultados cargas térmicas para un mismo modelo virtual respecto de todas las localizaciones de medición de campo en Vatios (W)

COMPARACIÓN ENERGÉTICA DE PUNTOS DE SIMULACIÓN				
CARGAS (W)	ΔP		%	
	REFRIG.	CALEF.	REFRIG.	CALEF.
PLANTA SÓTANO	0,00	0,00	0,00	0,00
PLANTA BAJA	0,00	0,00	0,00	0,00
PLANTA 1	2.909,47	6.225,35	1,92	1,76
PLANTA 2	2.779,48	2.186,33	1,76	1,19
PLANTA 3	2.915,02	1.867,65	1,76	1,19
PLANTA 4	4.135,12	2.406,31	2,22	1,20
PLANTA ATICO	3.290,88	2.986,06	1,67	1,22
TOTAL EDIFICIO	15.638,58	15.536,00	9,32	6,56

Los incrementos de energía registrados en las simulaciones atendiendo a las diferentes localizaciones establecidas y teniendo en cuenta la base climática obtenida en el trabajo de campo [Tabla 58], llegan a ser de hasta el 9,32% en carga de refrigeración y del 6,56% en carga de calefacción como valores máximos de variación.

Semejantes incrementos de ahorro energéticos (casi un 10% en carga de refrigeración y de casi un 7% en carga de calefacción),

considerados por vivienda y extrapolados al total del parque residencial de Madrid capital, supondría un sensible ahorro económico por cada vivienda considerada. Sería un planteamiento firme de ahorro energético en la planificación arquitectónica del edificio, sin llegar siquiera a la consideración constructiva del mismo.

Esto llevaría a la consideración del beneficio real de la revisión de la normativa actual (a escala de ciudad), para pormenorizar el entorno de estudio a escala de manzana urbana, buscando el consiguiente ahorro energético, al variar sensiblemente las condiciones de contorno reales existentes. Se establece pues una nueva realidad climática mucho más exacta, que permitirá ser mucho más precisos en los cálculos de demanda energética de un edificio y actuar en consecuencia en la fase de diseño.

Capítulo 6: Conclusiones

Una vez considerado todo lo anterior, se tomará plena conciencia de que los resultados obtenidos no pueden tenerse en cuenta como realmente concluyentes, ya que la nueva base de datos climatológica no responde a una media de los valores de un período clino de 30 años, sino a un año determinado objeto de estudio.

Se trata pues de generar una llamada de atención, de abrir un camino al planteamiento de una idea, de proponer una alternativa a lo ya existente dentro del marco normativo. Y todo ello sobre una base calculada, justificada y razonada.

Se genera un modelo de estudio, referente a un edificio de viviendas de 1.955, regido por una normativa anterior a la N.T.E-79, y cuya identidad se puede generalizar a más del 60% del entorno objeto de análisis. Este modelo podría haber sido cualquiera, yendo su elección más allá de una tipología o estilo constructivo concreto. El resultado del cálculo del modelo elegido quiere evidenciar, en porcentajes de energía y cargas térmicas (huyendo de la cuantificación limitada de una cifra sin más), la diferencia existente en los resultados obtenidos atendiendo a una base de datos climática existente (referida a un conjunto urbano completo), y los obtenidos considerando las variaciones climáticas que pueden existir atendiendo a un estudio climático a escala mucho mas reducida, incluso menor que el de lai de manzana urbana (Nanoclimas Urbanos).

Una vivienda idéntica a la estudiada, que adecúe su envolvente a los parámetros que exige el C.T.E., aproximadamente presenta una demanda de cargas térmicas de la mitad respecto a la envolvente actual. Sin embargo, no se trata de adecuar un edificio a la normativa

que rige hoy en día, sino de manifestar las diferencias en términos de energía que supone un cálculo atendiendo a la base de datos climática existente para Madrid capital y la nueva base de datos pormenorizada en el entorno de estudio. Por tanto, se podrán extrapolar los resultados obtenidos en términos de porcentaje de ahorro energético a cualquier modelo, independientemente de la envolvente térmica que lo caracterice.

Repasando los resultados obtenidos, se observa que existe una variación en las cargas térmicas demandadas por un mismo edificio según la nueva base climática considerada, de un 9,32% en refrigeración y un 6,56% en calefacción. Según los últimos datos publicados por el Instituto de Estadística en 2015, la estimación del parque de viviendas en Madrid capital según el Ministerio de Fomento es de 2.951.813 unidades. El Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía [IDAE, 2011] establece que los consumos medios de energía para un hogar tipo anual son de 3250 kWh para electricidad y 5050 kWh para gas. Aplicando redondeos razonables en los coeficientes de ahorro obtenidos (empleando así un 9% y un 6,5% de ahorro en refrigeración y calefacción respectivamente), y haciendo una simple multiplicación, se obtiene que para electricidad se generaría un ahorro de 292,5 kWh en refrigeración y de 211,25 kWh para calefacción; y para gas el ahorro sería de 454,50 kWh para refrigeración y de 328,28 kWh para calefacción por vivienda y año

Teniendo en cuenta que el precio actual del kWh en tarifa estable de electricidad es de 0.12906 €/kWh y en gas de 0.04350 €/kWh, el ahorro por vivienda en electricidad estaría en torno a 37,75€ en refrigeración y de 27,26€ en calefacción, es decir, 65,01€ en total para electricidad. Por su parte, en cuanto a gas se refiere el ahorro por vivienda en

refrigeración 19,77€ para refrigeración y de 14,28€, lo que arroja 34,05€ en total.

Considerando cifras totales de viviendas en Madrid, las cifras de ahorro obtenidas serían de 191.897.363€ para electricidad y de 100.509.233€ para gas, anualmente sólo en Madrid capital, cifras verdaderamente significativas atendiendo sólo a la modificación normativa en materia de energía.

En este estudio, la cuantificación de los incrementos en la obtención de resultados, se ha dejado a nivel de la obtención de cargas térmicas. No se ha llegado a su expresión en términos de energía (demanda térmica del edificio o consumo de energía final) debido a que intervienen muchos más factores que habría que suponer: potencias y tipología de instalaciones de climatización instaladas, rendimientos... El camino lógico después del cálculo de esas cargas térmicas, radicaría en la obtención de las "Cargas Térmicas Máximas", siendo éstas las "máximas cargas de refrigeración y calefacción que se dan a lo largo del año" y que determinan la potencia de los sistemas a instalar.

Una vez calculada esta "Carga Térmica Máxima", debe obtenerse la denominada "Potencia de Extracción", que es la energía instantánea útil que necesitan los equipos de climatización para combatir la carga térmica, según un horario de uso y un rendimiento de la instalación (a modo de ejemplo, para un rendimiento de la instalación de un 100%, el valor de la Potencia Máxima de Extracción coincidiría con el de la carga térmica).

Como resultado de integrar la potencia de Extracción a lo largo del año, se obtendría la "Demanda Térmica" del edificio (en kWh), para

posteriormente, estimar el "Consumo de Energía Primaria" del mismo, aplicando el llamado "Coeficiente de Paso", que propone el propio Ministerio de Industria, dentro de su marco normativo en función del tipo de energía empleado (electricidad, gas...) [ROBINSON, D.; 2011]

Demasiadas variables pues, las que existen después del cálculo de las cargas térmicas en el edificio, lo que hace recomendable detenerse en este punto y reflexionar sobre los resultados obtenidos: el ahorro medio anual propuesto de energía equivale al presupuesto anual para el área de cultura del 2016 en Madrid capital (141.653.786€).

Más allá de las cifras obtenidas de un software de cálculo y que cuantificarían en modo notable este estudio de cara a cualquier Administración, se deja patente la posibilidad real de generar un sustancial ahorro energético en el consumo de cada vivienda, simplemente siendo más rigurosos y exactos en el marco normativo a aplicar. Esto es precisamente la esencia del mensaje del Proyecto de Investigación NANOCLIMA que se adjunta (ver anexo CD)³ y es, como hecho en sí mismo, el acceso una a poderosa senda de investigación en cualquier ámbito urbano del mundo. El entorno de medición será pues fundamental en los ratios de ahorro obtenidos, por lo que se hacen necesarios nuevas zonas de estudio y monitorización, con el fin de poder cuantificar realmente los impactos de ahorro en cada barrio en concreto

Se ha dado pues un primer paso de muchos en la proposición de cambios en materia energética en nuestra sociedad y, curiosamente a lo que muchos podrían pensar, atendiendo sobre todo a criterios

³ Ver Anexo CD Proyecto de Investigación NANOCLIMA. Conclusiones. Informe de Resultados y Memoria Final

normativos. Se propone generar una arquitectura sostenible y eficiente, sin ni siquiera hacer arquitectura...

Sugerentes caminos se abren a partir de ahora. Uno de ellos podría ser la monitorización mediante sensores climáticos de determinadas zonas de estudio para poder generar un entorno de trabajo más amplio, no longitudinal como éste, sino de manzana real de barrio, por ejemplo. Podría llegarse, además de identificar las causas reales que generan estas diferencias en la medición de temperatura en un mismo entorno urbano, a cuantificarlas y expresar numéricamente su afección.

Se observa pues una constatación física, a tenor de los resultados obtenidos, de que fenómenos climáticos generados en el interior de la propia urbe, y atribuibles a su propia naturaleza (como la isla de calor por ejemplo), serán determinantes a la hora de poder identificar las causas que provocan los resultados obtenidos. También es cierto que, inmersos en la época en la que vivimos, fenómenos como el cambio climático, el sobrecalentamiento global del planeta y la acción humana en sí misma, acentuarán los incrementos de energía calculados, al verse afectados directamente factores como las temperaturas máximas y mínimas.

Podría ser incluso la misma Administración local de una ciudad quien pudiera tomar partido para mejorar la política energética de la urbe y gestionar de mejor manera sus recursos energéticos. Queda pues mucho camino por recorrer.

Referencias Bibliográficas

Bibliografía general

BASE DE DATOS CLIMATICA CALLE ALCALÁ. Proyecto de Investigación Nanoclimas Urbanos Universidad Camilo José Cela, 2012-13.

BOURBIA, F.; and BOUCHERIBA, F. Impact of Street Design on Urban Microclimate for Semi Arid Climate (Constantine). *Renewable Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 343-347, 2010.

CARMONA, J.C. A new energy model for Madrid: Urban nanoclimates. *World Sustainable Bulding 2014 wsb14*, 2014.

CARMONA, J.C. Un nuevo modelo energético para Madrid capital. Hagamos arquitectura eficiente sin hacer arquitectura. II Congreso EECN Edificios Energía Casi Nula, Libro de Comunicaciones pp. 7-10, 2014.

CHANDLER, T.J. Temperature and humidity traverses across London". *Weather*, 17, pp. 235-242. 1962

CHANDLER, T.J. An accumulated temperature map of the London area. *Meteorological Magazine*, 93, pp. 242-245, 1964.

CHATZIDIMITRIOU, A. AND S. YANNAS. Microclimatic Studies of Urban Open Spaces in Northern Greece. In *The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture*. Eindhoven, The Netherlands, 2004.

Comisión de las Comunidades Europeas. Libro Verde Sobre El Medio Ambiente Urbano. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas, 1990.

CUCHÍ, A.; and SWEATMAN, P. Una visión-país para el sector de la edificación en España. Hoja De Ruta Para Un Nuevo Sector De La Vivienda. GBCe-CONAMA ed., GBCe-CONAMA, 2011.

CURRIE, B. A.; and BASS, B. Estimates of Air Pollution Mitigation with Green Plants and Green Roofs using the UFORE Model. Urban Ecosystems, vol. 11, no. 4, pp. 409-422, 2008.

D'AMICO, C. Arquitectura Bioclimática, Conceptos Básicos y Panorama Actual. Universidad Politécnica De Madrid, 2002.

DE GARAIO, S. D., et al. Arquitectura Bioclimática y Urbanismo Sostenible. Prensas Universitarias de Zaragoza, 2009.

DE LA CRUZ MERA, ÁNGELA. La renovación urbana integral: una apuesta de futuro. Málaga ed., 2010.

DEAKIN, M. The case for socially inclusive visioning in the community-based approach to sustainable urban regeneration. Sustainable Cities and Society.

DEPARTAMENTO DE PRODUCCIÓN DE LA AGENCIA ESTATAL DE METEOROLOGÍA DE ESPAÑA (ÁREA DE CLIMATOLOGÍA Y APLICACIONES OPERATIVAS) Y POR EL DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA Y CLIMA, I. D. M. D. P. Atlas Climático Ibérico.

ELIASSON, Ingegärd, et al. Climate and Behaviour in a Nordic City. *Landscape and Urban Planning*, 8/15, vol. 82, no. 1–2, pp. 72-84, 2007.

EVE., et al. *Guía De Edificación Sostenible Para La Vivienda En La Comunidad Autónoma Del País Vasco*. Gobierno Vasco, 2006.

FALCÓN, Antoni; RIVER, Montseand PUJOL-XICOY, Ignasi. *Espacios Verdes Para Una Ciudad Sostenible: Planificación, Proyecto, Mantenimiento y Gestión*. Barcelona: Gustavo Gili, 2007.

FERNANDO, R. *Ropa, Sudor y Arquitectura*. . H. Blumes ed., Madrid, 1980.

FIALA, D., G. HAVENITH, P. BRÖDE AND B. KAMPMANN UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation 2011, 13.

GADSDEN, S., M. RYLATT AND K. LOMAS Putting solar energy on the urban map: a new GIS-based approach for dwellings. *Solar Energy*, 2003a, 74(5), 397-407, 2003.

GALLEGO, L.P. *Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio em Climatologia Urbana*. Tese de doutoramento, USP, S20 Paulo, 1972.

GINER, Salvador. *Ciudad e Historia En La Europa Meridional. Algunas Reflexiones Sociológicas*. *La Ciudad Viva*, 2007, pp. 2012. Available from: http://www.laciudadviva.org/opencms/export/sites/laciudadviva/recursos/documentos/Salvador_Giner__Ciudad_e_historia_en_la_Europa_meridional.pdf-de56c8d44c24529a6f399f99ddf5e06c.pdf

GÓMEZ, A. L. El Clima Urbano: Teledetección De La Isla De Calor En Madrid. MOPT, Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1993.

GÓMEZ, F.; GIL, L. and JABALOYES, J. Experimental Investigation on the Thermal Comfort in the City: Relationship with the Green Areas, Interaction with the Urban Microclimate. *Building and Environment*, vol. 39, no. 9, pp. 1077-1086, 2004.

Greater London Authority. London's Urban Heat Island: A Summary for Decision Makers. Londres: Greater London Authority, 2006.

GULYÁS, Á.; UNGER, J. and MATZARAKIS, A. Assessment of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in a Complex Urban Environment: Modelling and Measurements. *Building and Environment*, 12, vol. 41, no. 12, pp. 1713-1722, 2006.

HAVENITH, G. Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *Journal of Applied Physiology*, 90(5), 1943-1954, 2001.

HIGUERAS GARCÍA, E. Urbanismo Bioclimático. Cuadernos De Investigación Urbanística, no. 24, 2011.

HIGUERAS, Esther. Urbanismo Bioclimático. Barcelona: Gustavo Gili, 2006.

HOLMES, N. S.; and MORAWSKA, L. A Review of Dispersion Modelling and its Application to the Dispersion of Particles: An Overview of Different Dispersion Models Available. *Atmospheric Environment*, vol. 40, no. 30, pp. 5902-5928, 2006.

HÖPPE, P. Different Aspects of Assessing Indoor and Outdoor Thermal Comfort. *Energy and Buildings*, 2002, vol. 34, no. 6, pp. 661-665.

HÖPPE, P. The Physiological Equivalent temperature—a Universal Index for the Biometeorological Assessment of the Thermal Environment. *International Journal of Biometeorology*, 1999, vol. 43, no. 2, pp. 71-75.

HOWARD, L. *The climate of London*. Reprinted, A. Arch, Cornhill, Longman and Co., 1833, 1818.

HUI, Sam C. M. Low Energy Building Design in High Density Urban Cities. *Renewable Energy*, 11, 2001, vol. 24, no. 3-4, pp. 627-640.

HUNT, D. V. L., I. JEFFERSON AND C. D. F. ROGERS Assessing the sustainability of underground space usage - A toolkit for testing possible urban futures. *Journal of Mountain Science*, Apr 2011, 8(2), 211-222.

JENDRITZKY, G., R. DE DEAR AND G. HAVENITH UTCI—Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 2011a, (Earth and Environmental Science).

JIMÉNEZ HERRERO, Luis M. *SOSTENIBILIDAD EN ESPAÑA 2011*. Observatorio de la Sostenibilidad de España, 2011.

LYKOUDIS, M. N. S. Use of Outdoor Spaces and Microclimate in a Mediterranean Urban Area. *Building and Environment*, vol. 42, no. 10, 2007.

MACHO, J. J. G., J. M. C. LÓPEZ, J. L. M. FÉLIX, S. A. DOMÍNGUEZ, et al. Control climático en espacios abiertos: evaluación del proyecto EXPO'92, 1994.

MEYN, Stephanie K.; and OKE, T. R. Heat Fluxes through Roofs and their Relevance to Estimates of Urban Heat Storage. *Energy and Buildings*, 7, vol. 41, no. 7, pp. 745-752, 2009.

MILLWARD, G.E. y MOTTE R. H. Observations of the Plymouth temperature fieldn in *Weather*, London. 1976

Ministerio de Vivienda. Plan Estatal De Vivienda y Rehabilitación 2009-2012, 2008.

MOCHIDA, A. AND I. Y. F. LUN Prediction of wind environment and thermal confort at pedestrian level in urban area. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Oct-Nov 2008, 96(10-11), 1498-1527.

MORAN, D. S., K. B. PANDOLF, Y. EPSTEIN, Y. HELED, et al. Validation of the environmental stress index (ESI) for physiological variables. *Environmental Ergonomics: THE ERGONOMICS OF HUMAN COMFORT, HEALTH AND PERFORMANCE IN THE THERMAL ENVIRONMENT*, 3, 495-501, 2005.

NANOCLIMA. Optimización del ahorro energético: Nanoclimas urbanos en Madrid. Proyecto de Investigación con nº exp. 2012-14. Madrid Universidad Camilo José Cela

NIKOLOVA, I., S. JANSSEN, P. VOS, K. VRANCKEN, et al. Dispersion modelling of traffic induced ultrafine particles in a street canyon in

Antwerp, Belgium and comparison with observations. *Science of the Total Environment*, Dec 2011, 412, 336-343.

NÚÑEZ, M. The energy balance of an urban canyon. *Journal of Applied Meteorology*, 16 pp. 11-19, 1974.

OCHOA DE LA TORRE, J.M. *La Vegetación Como Instrumento Para El Control Microclimático*, 1999.

OJEMBARRENA, J. A., et al. *Sistemas Vegetales Que Mejoran La Calidad Ambiental De Las Ciudades*. Boletín CF S, no. 42/43, 2010.

OKE, TR. *Boundary Layer Climates*. Routledge, 1987.

OLESEN, B. W. International standards for the thermal environment. Where are we and what is still needed? *Environmental Ergonomics: THE ERGONOMICS OF HUMAN COMFORT, HEALTH AND PERFORMANCE IN THE THERMAL ENVIRONMENT*, 3, 479-485, 2005.

OLGYAY, Victor. *Design with Climate*. Princeton University Press ed., 3rd ed. Princeton, New Jersey, 1969.

OZÁMIZ, A; CARMONA, J.C.; *Nanoclimas Urbanos*. *Constelaciones revista de arquitectura de la Universidad San Pablo CEU*, 3, 153-170, 2013

RATTI, C., S. DI SABATINO AND R. BRITTER *Urban texture analysis with image processing techniques: winds and dispersion*. *Theoretical and Applied Climatology*, Feb 2006, 84(1-3), 77-90.

RIZWAN, Ahmed Memon; DENNIS, Leung Y. C. and LIU, Chunho. A Review on the Generation, Determination and Mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, vol. 20, no. 1, pp. 120-128, 2008.

ROBINSON, D. *Some Trends and Research Needs in Energy and Comfort Prediction*, 2006.

ROBINSON, D., et al. SUNtool – A New Modelling Paradigm for Simulating and Optimising Urban Sustainability. *Solar Energy*, 9, vol. 81, no. 9, pp. 1196- 1211, 2007.

ROBINSON, Darren; and STONE, Andrew. Internal Illumination Prediction Based on a Simplified Radiosity Algorithm. *Solar Energy*, 3, vol. 80, no. 3, pp. 260- 267, 2006.

ROBINSON, Darren; and STONE, Andrew. Solar Radiation Modelling in the Urban Context. *Solar Energy*, 9, vol. 77, no. 3, pp. 295-309, 2004.

RUEDA, Salvador. *Libro Verde Del Medio Ambiente Urbano*. Ministerio de Medio Ambiente ed., 2006.

SÁNCHEZ DE LA FLOR, Francisco; and ALVAREZ DOMINGUEZ, Servando. Modelling Microclimate in Urban Environments and Assessing its Influence on the Performance of Surrounding Buildings. *Energy and Buildings*, vol. 36, no. 5, 2004.

SANTAMOURIS, M., et al. *Energy and Climate in the Urban Built Environment*. ed., Athens, Greece: University of Athens, 2001.

SANTAMOURIS, M., et al. On the Impact of Urban Climate on the Energy Consumption of Buildings. *Solar Energy*, vol. 70, no. 3, pp. 201-216, 2001.

SANTAMOURIS, M., et al. Using Cool Paving Materials to Improve Microclimate of Urban areas–Design Realization and Results of the Flisvos Project. *Building and Environment*, vol. 53, pp. 128-136, 2012.

SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAU, N.; LIVADA, I.; KORONAKIS, I.; GEORGAKIS, C.; ARGIRIOU, A. and ASSIMAKOPOULOS D.N.. On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings, *Solar Energy* Vol 70, nº 3, pp. 201-216, 2001.

SANTAMOURIS, M.; SYNNEFA, A. and KARLESSI, T. Using Advanced Cool Materials in the Urban Built Environment to Mitigate Heat Islands and Improve Thermal Comfort Conditions. *Solar Energy*, 2011.

SHASHUA-BAR, L.; HOFFMAN, M. E. and TZAMIR, Y. Integrated Thermal Effects of Generic Built Forms and Vegetation on the UCL Microclimate. *Building and Environment*, vol. 41, no. 3, pp. 343-354, 2006.

SMITH, Claire; and LEVERMORE, Geoff. Designing Urban Spaces and Buildings to Improve Sustainability and Quality of Life in a Warmer World. *Energy Policy*, 12, vol. 36, no. 12, pp. 4558-4562, 2008.

SOBRINO, J. A., G. SÒRIA, R. OLTRA-CARRIÓ, J. C. JIMÉNEZ-MUÑOZ, et al. DESIREX 2008: Urban heat island analysis in the City of Madrid. *Revista de Teledetección*, 2009.

SOBRINO, JIMENEZ MUÑOZ, ZARCO TEJADA, G Y DE MIGUEL. Land surface temperature derived from airborne hyperspectral scanner thermal infrared data. *Journal of Geophysical Research*, 2006.

STAIGER, H., G. LASCHEWSKI AND A. GRATZ The perceived temperature – a versatile index for the assessment of the human thermal environment. Part A: scientific basics. *International Journal of Biometeorology*, Jan 2012a, 56(1), 165- 176.

STATHOPOULOS, T., H. Q. WU AND J. ZACHARIAS Outdoor human comfort in an urban climate. *Building and Environment*, Mar 2004, 39(3), 297-305.

STEEMERS, Koen; and STEANE, Mary A. *Environmental Diversity and Architecture*. London: Spon Press, 2004.

STEFFEN, Lehmann. *The Principles of Green Urbanism : Transforming the City for Sustainability*. The University of Newcastle, 2001.

SWAID, H. and HOFFMAN M.E. Climatic impacts of urban design-features for high-latitude and midlatitude cities. *Energy and Buildings*, 14(4), 325-336, 1990.

TAHA, H.; CHANG, S.and AKBARI, H. *Meteorological and Air Quality Impacts of Heat Island Mitigation Measures in Three US Cities*. LBNL-44222. Berkeley, CA: Heat Island Group, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

TELLER, J. AND S. AZAR TOWNSCOPE II - A computer system to support solar access decision-making. *Solar Energy*, 70(3), 187-200, 2001.
Temperatura del aire y precipitación (1971-2000) [online]. Closas-Orcoyen S. L., 2011.

TSELIOU, A., I. X. TSIROS, S. LYKOUDIS AND M. NIKOLOPOULOU An evaluation of three biometeorological indices for human thermal comfort in urban outdoor areas under real climatic conditions. *Building and Environment*, May 2010a, 45(5), 1346-1352.

TUMINI, I. El microclima urbano de los espacios abiertos. Estudio de casos en Madrid. Departamento de Urbanismo y Ordenación del Territorio ETSA UPM, 2012.

TUMINI, I. Estrategias Para Reducción Del Efecto Isla De Calor En Los Espacios Urbanos. Estudio Aplicado Al Caso De Madrid. SB10mad, Madrid, Spain, 2010.

UNGER, J. Connection between urban heat island and sky view factor approximated by a software tool on a 3D urban database. *International Journal of Environment and Pollution*, 36(1-3), 59-80, 2009.

Universidad Central de Las Villas de Santa Clara. Estudio de la caracterización climática de Bogotá y cuenca alta del río Tunjuelo, 2004 Unizar. CURSOS-Urbanismo Sostenible. , Jueves, 19 de Abril de 2012 Available from: <http://cursos.unizar.es/index.php/home>.

USGBC, L. For New Construction and Major Renovations, 2009.

VIDE, V. Acerca de la medición y la experimentación en Geografía Física. Un ejemplo climatológico: la isla de calor. Martin Vide, *Notes de Geografía Física* 15-16, 1986-87. pp. 21-27, Dep. de Geografía Física y A.G.R., Universitat de Barcelona.

VOOGT, J. How Researchers Measure Urban Heat Islands, 2007.

WALTON, D., V. DRAVITZKI AND M. DONN The relative influence of wind, sunlight and temperature on user comfort in urban outdoor spaces. *Building and Environment*, Sep 2007, 42(9), 3166-3175.

WAN, W. C., et al. A Study on the Effectiveness of Heat Mitigating Pavement Coatings in Singapore, 2009.

WAN, Xianfu; and FAN, Jintu. A Transient Thermal Model of the Human body–clothing–environment System. *Journal of Thermal Biology*, vol. 33, no. 2, pp. 87-97, 2008.

WAN, Xianfu; and FAN, Jintu. A Transient Thermal Model of the Human body– clothing–environment System. *Journal of Thermal Biology*, vol. 33, no. 2, pp. 87-97, 2008.

WONG, E. Reducing Urban Heat Island: Compendium of Strategies. Environmental Protection Agency's Office of Atmospheric Programs EPA

ZAMORA, E. C. El espacio público abierto y paisaje urbano de Madrid. valores e identidades, 2010, pp. 149.

ZHANG, J., C. K. HENG, L. C. MALONE-LEE, D. J. C. HILL, et al. Evaluating environmental implications of density: A comparative case study on the relationship between density, urban block typology and sky exposure. *Automation in Construction*, Mar 2012, 22, 90-

Bibliografía específica por capítulos

Capítulo 1

ARDURA, A. AND A. GÓMEZ. Nuevos procesos de rehabilitación urbana integral de barrios de bloque abiertos en Madrid y Barcelona como ecosistema de regeneración urbana. Available from Internet: http://www.cityfutures2009.com/PDF/76_Ardura_Urquiaga_Alvaro.pdf

ARREDONDO, I. A. De Periferia a Ciudad Consolidada. Estrategias Para La Transformación De Zonas Urbanas Marginales. Bitácora Urbano Territorial, pp. 98, 2005.

BORJA, J.; MUXI, Z. and Barcelona. Xarxa de Municipis. El Espacio Público: Ciudad y Ciudadanía, 2003.

CARMONA, J.C. El despilfarro energético: "los Nanoclimas Urbanos" en Madrid. Trabajo Fin de Máster Universidad Camilo José Cela de Madrid. 2012.

CODIGO TÉCNICO DE LA EDIFICACIÓN. NORMAS UNE Y LEGISLACIÓN APLICABLE. VV.AA: AENOR Asociación Española de Normalización y Certificación, Documento HE Ahorro de Energía 2009 (actualización 2014), 2009.

LÓPEZ GÓMEZ, A.; Julia LÓPEZ GÓMEZ, J.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; MORENO JIMÉNEZ, A. El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1993.

LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ, F.; ARROYO, F.; MARTÍN VIDE, J. y CUADRAT, J.M. El clima de las ciudades españolas. Cátedra. Madrid, 1993.

MIRZAEI, P. A.; and HAGHIGHAT, Fariborz. Approaches to Study Urban Heat Island – Abilities and Limitations. *Building and Environment*, 10, vol. 45, no. 10, pp. 2192-2201. ISSN 0360-1323, 2010.

PRADA-POOLE, J.M. Clase magistral Análisis de Modelos Paradigmáticos. Master Eficiencia Energética y Arquitectura Bioclimática. Universidad Camilo José Cela. 2012.

Capítulo 2:

AA.VV. Active Design Guideline. Promoting Physical Activity and Health in Design, 2009.

AA.VV. for Heat Island Reduction Initiative, al cuidado de Cambridge Systematic. Inc, Chevy Chase, Junio 2005.

AA.VV. Los Espacios Verdes En La Ciudades Del Siglo XXI. Congreso Nacional Parques y Jardines Públicos. Pozuelo de Alarcón Madrid ed. Pozuelo de Alarcón Madrid: S.n., 2004.

ACERO, Juan A. Urban Climate Modelling: Development of Urban Climate Evaluation Methods for Urban Planning Purposes. Faculty of Architecture, Urban and Landscape Planning at the University Kassel, 2012.

AHMED, Khandaker Shabbir. Comfort in Urban Spaces: Defining the Boundaries of Outdoor Thermal Comfort for the Tropical Urban Environments. *Energy and Buildings*, 1, vol. 35, no. 1, pp. 103-110, 2003.

ALI-TOUDERT, F. AND H. MAYER Effects of asymmetry, galleries, overhanging facades and vegetation on thermal comfort in urban street canyons. *Solar Energy*, 81 (6), 742-754, 2007.

ALI-TOUDERT, Fazia; and MAYER, Helmut. Numerical Study on the Effects of Aspect Ratio and Orientation of an Urban Street Canyon on Outdoor Thermal Comfort in Hot and Dry Climate. *Building and Environment*, 2, vol. 41, no. 2, pp. 94-108, 2006.

ÁLVAREZ LÓPEZ A.E., Los microclimas urbanos y la contaminación acústica en ciudades del centro de Cuba. Reflexiones para el planeamiento a través de SIG. Nº 97 pp. 20-35, 2004.

ASHRAE. Manual de cargas térmicas en los edificios. ed. ASHRAE España, 2014.

AULICIEMS, A. AND S. V. SZOKOLAY Thermal Comfort. Edition ed. Head of Department of Architecture The University of Queensland.: Michael Keniger, 2007.

BASE DE DATOS CLIMÁTICA AEMET Madrid capital available in <http://www.aemet.es/es/portada>

BELLO FUENTES, V. La Isla De Calor Nocturna y Los Usos Del Suelo En Alcalá De Henares, 1995.

BELLO FUENTES, V. La isla de calor y los usos del suelo en Guadalajara. Universidad de Alcalá. Servicio de Publicaciones, 1994.

BERKOVIC, S., A. YEZIORO AND A. BITAN Study of thermal comfort in courtyards in a hot arid climate. *Solar Energy*, 86(5), 1173-1186, 2012.

BERNHOFER, R. Jahreszeitliche und tagliche Variationen einer stadtischen Wärmeinsel auf Grund von topographie und Windverhältnissens in *Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology*. Wien, 1984.

BLAZEJCZYK, K., Y. EPSTEIN, G. JENDRITZKY, H. STAIGER, et al. Comparison of UTCI to selected thermal indices. *International Journal of Biometeorology*, 2011.

BOLUND, P.; and HUNHAMMAR, S. Ecosystem Services in Urban Areas. *Ecological Economics*, 5, vol. 29, no. 2, pp. 293-301, 1999.

BORNSTEIN, R. Observations of the Urban Heat Island Effect in New York City, in *Journul of Applied Meteorology*, Boston, 1968.

BOURBIA, F.; and BOUCHERIBA, F. Impact of Street Design on Urban Microclimate for Semi Arid Climate (Constantine). *Renewable Energy*, vol. 35, no. 2, pp. 343-347, 2010.

BRETZ, S.; AKBARI, H. and ROSENFELD, A. Practical Issues for using Solar-Reflective Materials to Mitigate Urban Heat Islands. *Atmospheric Environment*, vol. 32, no. 1, pp. 95-101, 1998.

CANDAS, V. To be Or Not to be Comfortable: Basis and Prediction, vol. Volume 3, pp. 207-215, 2005.

CARDENAS JIRON, L. Planificación de la forma urbana con criterios de eficiencia energética. Caracterización De Patrones Bioclimáticos En Tejidos Urbanos Residenciales. ETSAM-UPM, 2010.

CARRERAS, C.; Marín, M.; MARTÍN VIDE, J.; MORENO, M.C. y SABI, J. (1990). Modificaciones térmicas en las ciudades, avance sobre la isla de calor en Barcelona. Documents d'análisi Geogràfica, 17 pp. 51-77, 1990.

CARTER, George; and MAJERUS, Marianne. Espacios Verdes: Planificación y Arquitectura De Jardines. Barcelona: Blume, 2006.

CASTRO, Y.; FERNÁNDEZ, E. y ÁLVAREZ, A. Influencia de la forma urbana en el microclima térmico de Sagua la Grande. Arquitectura y Urbanismo versión on line, 2004.

CENA, K. AND J. A. CLARK Bioengineering, thermal physiology and comfort. Edtion ed. Amsterdam-Oxford-New York. ISBN 0-444-99761-X, 1981.

CHANDLER, T.J. Temperature and humidity traverses across London". Weather, 17, pp. 235-242. 1962

CHANDLER, T.J. An accumulated temperature map of the London area. Meteorological Magazine, 93, pp. 242-245, 1964.

CHATZIDIMITRIOU, A. AND S. YANNAS. Microclimatic Studies of Urban Open Spaces in Northern Greece. In The 21st Conference on Passive and Low Energy Architecture. Eindhoven, The Netherlands, 2004.

CLARKE, J. F. and PETERSON, J. T. An Empirical Model Using Eigenvectors to Calculate the Temporal and Spatial Variations of the St. Louis Heat Island', J. Appl. Meteorol. 12, 195–210, 1973.

COHEN, P.; POTCHTER, O. and MATZARAKIS, A. Daily and Seasonal Climatic Conditions of Green Urban Open Spaces in the Mediterranean Climate and their Impact on Human Comfort. Building and Environment, 2011.

COLACINO, M. Infrared Radiometric Measurements for the study of Rome Urban heat island), in Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology, Wien, 1978.

COLACINO, M. Some observations of the urban heat island in Rome During the summer. 190 season, in Nuovo Cimento, Bologna, 1980.

COLACINO, M. y CAVAGNINI, A. Evidencoes of the urban heat island in Rome by climatological analyses in Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology. Wien. 1982.

Comisión de las Comunidades Europeas. Libro Verde Sobre El Medio Ambiente Urbano. Bruselas: Comisión de las Comunidades Europeas, 1990.

CORREA, E.N.; FLORES LARSEN, S.; LESINO G. Isla de calor urbana: efecto de los pavimentos. Informe de avance, Avance en Energía Renovable y Medio Ambiente, Vol 7, N°2, 2003.

COUCH, C., O. SYKES AND W. BÖRSTINGHAUS Thirty years of urban regeneration in Britain, Germany and France: The importance of context and path dependency. *Progress in Planning*, 2011.

CUADRAT, J.M.; RIVA, J.; LÓPEZ, F.; MARTÍ, A. Ciudad y medio ambiente. La isla de calor en Teruel. Departamento de Geografía y ordenación del territorio, *Geographicalia*, 30 pp. 113-123, 1993.

DAVIES, M.; STEADMAN, P. and ORESZCZYN, T. Strategies for the Modification of the Urban Climate and the Consequent Impact on Building Energy use. *Energy Policy*, vol. 36, no. 12, pp. 4548-4551, 2008.

DETTWILLER J. Deep soil temperature trends and urban effects at Paris in *Journal of Applied Meteorology*, Boston, 1970.

DEUTSCHMANN, T., S. BEIRLE, U. FRIESS, M. GRZEGORSKI, et al. The Monte Carlo atmospheric radiative transfer model McArtim: Introduction and validation of Jacobians and 3D features. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, 112(6), 1119-1137, Apr 2011.

DIMOUDI, A.; and NIKOLOPOULOU, M. Vegetation in the Urban Environment: Microclimatic Analysis and Benefits. *Energy and Buildings*, vol. 35, no. 1, pp. 69-76, 2003.

ELIASSON, Ingegård, et al. Climate and Behaviour in a Nordic City. *Landscape and Urban Planning*, 8/15, vol. 82, no. 1-2, pp. 72-84, 2007.

ESCOURROU G. Le climat de l'agglomération parisienne in *L'Information Géographique*, Paris, 1986.

FIORETTI, Roberto, et al. Green Roof Energy and Water Related Performance in the Mediterranean Climate. *Building and Environment*, 8, vol. 45, no. 8, pp. 1890-1904, 2010.

FORD, Brian; SCHIANO-PHAN, Rosa and ZHONGCHENG, Duan. *The Passiva House Standard in European Warm Climates. A Review of Comfortable Low Energy Homes*. Lisboa: INETI, 2007.

FUKUOKA, Y. y NOBUYUKI, T. Urban Climate and Quality of Hiroshima City. 2nd, report, in *Japanese Progress in Climatology*, Tokio, 1980.

FUTURE CITIES PROGRAM. *Urban Networks to change climate changing*. 2009 available in <http://www.future-cities.eu/>

GABRIEL, Katharina M. A.; and ENDLICHER, Wilfried R. Urban and Rural Mortality Rates during Heat Waves in Berlin and Brandenburg, Germany. *Environmental Pollution*, vol. 159, no. 8-9, pp. 2044-2050, 2011.

GALLEGO, L.P. Tipos de tempo e poluição atmosférica no Rio de Janeiro: um ensaio em Climatologia Urbana. Tese de doutoramento, USP, São Paulo, 1972.

GAYEV, Y. A. AND E. SAVORY Influence of street obstructions on flow processes within urban canyons. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Aug-Oct 1999, 82, 89-103.

GEORGI, J. N.; and DIMITRIOU, D. The Contribution of Urban Green Spaces to the Improvement of Environment in Cities: Case Study of Chania, Greece. *Building and Environment*, vol. 45, no. 6, pp. 1401-1414, 2010.

GIRIDHARAN, R., et al. Urban Design Factors Influencing Heat Island Intensity in High-Rise High-Density Environments of Hong Kong. *Building and Environment*, 10, vol. 42, no. 10, pp. 3669-3684, 2007.

GIVONI, B. Applicability of passive solar heating in regions with hot summers. *Renewable Energy: Technology and the Environment*, Vols 1-5, 1992a, 1987-1992.

GIVONI, B. comfort, climate analysis and building design guidelines. *Energy and Buildings*, 1992b, 18(1), 11-23.

GIVONI, B., M. NOGUCHI, H. SAARONI, O. POCHTER, et al. Outdoor confort research issues. *Energy and Buildings*, Jan 2003, 35(1), 77-86.

GIVONI, Baruch. *Climate Considerations in Building and Urban Design*. Van Nostrand Reinhold ed., New York, 1998.

GÓMEZ DE PEROZO, Nersa. *Estrategias Para El Control Microclimático Del Espacio Entre Edificaciones En Clima Cálido – Húmedo*. ETSI-UPM, 2012.

GÓMEZ MENDOZAS, J. *Ciudad y Naturaleza, Diseño Urbano Con Criterios Ecológicos, Geograficos y Sociales*. Diciembre, 2004.

GONZÁLEZ, N.; and JAVIER, F. *Arquitectura Bioclimática En Un Entorno Sostenible: Buenas Prácticas Edificatorias*. Cuadernos De Investigación Urbanística, no. 41, 2011.

GRAY, K. A.; and FINSTER, M. E. *The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution*.

Department of Civil Engineering, Northwestern University, Evanston, IL, 2000.

HASSID, S.; SANTAMOURIS, M.; PAPANIKOLAOU, N.; LINARDI, A.; KLITSIKAS, N.; GEORGAKIS, C.; ASSIMAKOPOULOS, D.N. The effect of the Athens heat island on air conditioning load, S. Hassid a, M. Santamouris *Energy and Buildings* 32_2000.131–141.

HAY, T. D., G. E. BODEKER, K. KREHER, R. SCHOFIELD, et al. The NIMO Monte Carlo model for box-air-mass factor and radiance calculations. *Journal of Quantitative Spectroscopy & Radiative Transfer*, Jun 2012, 113(9), 721-738.

HOWARD, L. *The climate of London*. Reprinted, A. Arch, Cornhill, Longman and Co., 1833, 1818.

INSTITUTO ARGENTINO DE NORMALIZACIÓN. Norma IRAM 11603 clasificación bioambiental de la República Argentina, 1996.

JAUREGUI, E. *Urban Climate of Mexico City*, in *Erdkunde*, 1973.

JOHANSSON, E. Influence of Urban Geometry on Outdoor Thermal Comfort in a Hot Dry Climate: A Study in Fez, Morocco. *Building and Environment*, vol. 41, no. 10, pp. 1326-1338, 2006.

JOHNSON, D.B. (1985), Urban modification of diurnal temperature cycles in Birmingham, U.K., in *Journal of Climatology*, Chichester. 1985.

KOLOKOTRONI, M. and GIRIDHARAN, R. *Urban Heat Island Intensity in London: An Investigation of the Impact of Physical Characteristics on*

Changes in Outdoor Air Temperature during Summer. *Solar Energy*, 11, vol. 82, no. 11, pp. 986-998, 2008.

LOMBARDI, D. R., L. PORTER, A. BARBER AND C. D. F. ROGERS
Conceptualising Sustainability in UK Urban Regeneration: a Discursive Formation. *Urban Studies*, Feb 2011, 48(2), 273-296.

LOMBARDO, M.A. Ilha da calor nas metropoles. O exemplo de São Paulo
Hucitec, São Paulo, 1985.

K.A. and FINSTER, M. E. Chicago's Urban Heat Island Gray. The Urban Heat Island, Photochemical Smog, and Chicago: Local Features of the Problem and Solution. Evanston, IL: Northwestern University. File:///D:/Heat%20island/reports.htm 3.2 Light color surface pag 52-60, 1999.

LÓPEZ DE LUCIO, Ramón. Madrid 1979-1999: La Transformación De La Ciudad En Veinte Años De Ayuntamientos Democráticos. Gerencia Municipal de Urbanismo del Ayuntamiento ed., 1999.

LÓPEZ DE LUCIO, Ramón. Construir Ciudad En La Periferia. Madrid: Mairera Libros, 2007.

LÓPEZ GÓMEZ, A. El clima urbano de Madrid: la isla de calor. Centro de Investigaciones sobre la Economía, Sociedad y el Medio, CSIC, Madrid, 1991.

LÓPEZ GÓMEZ, A.; Julia LÓPEZ GÓMEZ, J.; FERNÁNDEZ GARCÍA, F.; MORENO JIMÉNEZ, A. El clima urbano. Teledetección de la isla de calor en Madrid. Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1993.

LÓPEZ GÓMEZ, A.; FERNÁNDEZ, F.; ARROYO, F.; MARTÍN VIDE, J. y CUADRAT, J.M. El clima de las ciudades españolas. Cátedra. Madrid, 1993.

LYKOUDIS, M. N. S. Use of Outdoor Spaces and Microclimate in a Mediterranean Urban Area. *Building and Environment*, vol. 42, no. 10, 2007.

MANLEY, G. On the frequency of snowfall in metropolitan England. *Quarterly Journal of Royal Meteorology Society*, 84 pp. 70-72. London, 1958.

MILLWARD, G.E. y MOTTE R. H. Observations of the Plymouth temperature fieldn in *Weather*, London. 1976.

Ministère de l'Écologie, du Développement durable, des Transports et du Logement. Réglementation thermique 2012, 2012.

MORAWSKA-HORAWSKA, M.y CEBULAK, E. Badania pionowego zasięgu miejskiej wyspyciepla nad Krakowemb in *Folia Geographica*, Warshawa, 1981.

MORENO GARCÍA, M.C. Estudio del clima urbano de Barcelona. *International Journal of Climatology*, 14 (6), pp. 705-710, 1993.

NIKOLOPOULOU M.; BAKER, N.; STEEMERS, K. Thermal comfort in outdoor urban spaces: the human parameter, *Solar Energy*; pp..., 70(3), 2001.

NIKOLOPOULOU, M. Designing Open Spaces in the Urban Environment: A Bioclimatic Approach. Centre for Renewable Energy Sources, EESD, FP5, 2004.

NIKOLOPOULOU, M. RUROS - Rediscovering the Urban Realm and Open Spaces. 2002.

NIKOLOPOULOU, M.; and LYKOUDIS, S. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Analysis Across Different European Countries. Building and Environment,, vol. 41, no. 11, pp. 1455-1470, 2006.

NIKOLOPOULOU, M.; and LYKOUDIS, S. Use of Outdoor Spaces and Microclimate in a Mediterranean Urban Area. Building and Environment, vol. 42, no. 10, pp. 3691-3707, 2007.

NIKOLOPOULOU, M.; and STEEMERS, K. Thermal comfort and psychological adaptation as a guide for designing urban spaces. Energy and Buildings, Jan 2003a, 35(1), 95-101.

NIKOLOPOULOU, M.; BAKER, N.and STEEMERS, K. Thermal Comfort in Outdoor Urban Spaces: Understanding the Human Parameter. Solar Energy, vol. 70, no. 3, pp. 227-235, 2001.

NÚÑEZ, M.; LÓPEZ, E.; SÁNCHEZ-GUEVARA, C.; NEILA, F.J. Hacia un modelo dinámico para la isla de calor en Madrid- Anales de Edificación Vol 2, nº 1 pp. 49-58. 2016.

OKE, T.R. Thermal Environment in Urban Areas. Swedish Council for Building Research, 1980.

ORTIGOSA IZQUIERDO, SOBRÓN GARCÍA, GOMEZ VILLAR. El Microclima urbano de Logroño en Invierno. Cuadernos I. Geográfica 24, pp. 89-106. Logroño, 1998.

PRADA-POOLE, J.M. Clase magistral Análisis de Modelos Paradigmáticos. Master Eficiencia Energética y Arquitectura Bioclimática. Universidad Camilo José Cela. 2012.

REDONDO RIVERA, O. Eficiencia energética. Manual práctico de cálculos térmicos de edificios, ed. Tornapunta, 2013.

REGLAMENTO DE INSTALACIONES TÉRMICAS EN LOS EDIFICIOS RITE 2013. Ed. Paraninfo.

RODRÍGUEZ BASCON, Pedro. Clima regional y microclimas urbanos. Universidad de Córdoba Servicio de Publicaciones, 2002.

SASAKURA, K. On the distribution of relative humidity in Tokyo and its secular change in the heart of Tokyo. Tokyo Journal of Climatology, Tokyo. 1965

SASSEN, S. The Global City: New York, London, Tokyo. Princeton Univ Pr, 2001.

SCHIMDT, W. Zum Einfluß grosser Städte auf das Klima, Naturwissenschaften, Vol. 30 (5), 494–495. 1917

SHITARA, H. Effects of Buildings upon the Winter Temperature in Hiroshima City in Geographical Review of Japan, Tokyo, 1957.

SUÁREZ, E. Microclimas urbanos en Córdoba, Universidad de Córdoba. Argentina, 1993.

TAHA, H.; CHANG, S. and AKBARI, H. Meteorological and Air Quality Impacts of Heat Island Mitigation Measures in Three US Cities. LBNL-44222. Berkeley, CA: Heat Island Group, Environmental Energy Technologies Division, Lawrence Berkeley National Laboratory, 2000.

TECNALIA. Jornada sobre clima urbano y calidad del aire, 2011.

THORSSON, S.; LINDQVIST, M. and LINDQVIST, S. Thermal Bioclimatic Conditions and Patterns of Behaviour in an Urban Park in Göteborg, Sweden. International Journal of Biometeorology, vol. 48, no. 3, pp. 149-156, 2004.

TUMINI, I. Estrategias Para Reducción Del Efecto Isla De Calor En Los Espacios Urbanos. Estudio Aplicado Al Caso De Madrid. SB10mad, Madrid, Spain, 2010.

TUMINI, I. AND E. HIGUERAS. Microclima condition in open spaces. Case study: Madrid, Spain. In Energy Efficiency and Sustainability in Architecture and Planning. San Sebastian, Spain, 2011.

UNWIND, J. The nocturnal climatology of Birmingham's urban heat island in Weather, London, 1980

VAN DIJK, W., HAGEN, R.J. y VELDEERS, E. Stadsklimaat utrecht: een meteorologisch veldwerk in Utrechtse Geographische Studies, Utrecht, 1980

W.M.O. Urban Climates. Tech Note 108, nº 254, World Meteorological Organization, Geneve, 1970

YAP, D. Seasonal excess urban energy and the nocturnal heat island-Toronto in Archives for Meteorology, Geophysics & Bioclimatology, Wien, 1975.

Capítulo 3:

PLAN GENERAL DE ORDENACIÓN URBANA DE MADRID. Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda. Dirección General de Planeamiento Urbanístico de Madrid, 2011.

GIVONI, B., M. NOGUCHI, H. SAARONI, O. POCHTER, et al. Outdoor confort research issues. Energy and Buildings, Jan 2003, 35(1), 77-86.

Capítulo 4:

DE TERÁN, Fernando. Historia Del Urbanismo En España III. Siglo XIX y XX, 1999.

DE TERÁN, F.; and Madrid (Spain: Region). Dirección General de Urbanismo y Planificación Regional. En Torno a Madrid: Génesis Espacial De Una Región Urbana. Dirección General de Urbanismo, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio, Comunidad de Madrid, 2006.

ESTEBAN MALUENDA, A. Poblados Dirigidos De Madrid. VPOR2 Revista De Vivienda, no. 6, pp. 18-23, 2009.

Ministerio de Vivienda. Plan Estatal De Vivienda y Rehabilitación 2009-2012, 2008.

Ministerio de Fomento. Plan Estatal De Vivienda y Rehabilitación 2009-2012. Available from: http://siu.vivienda.es/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=75&Itemid=127&lang=es.

SAN PEDRO MENDOZA, F. Aproximación al análisis de los climas urbanos sobre series horarias. Universidad de Alcalá, Servicio de Publicaciones, 1994.

TURÉGANO ROMERO, José A. Arquitectura Bioclimática y Urbanismo Sostenible. Prensas Universitarias de Zaragoza ed., 2009.

TURÉGANO ROMERO, José Antonio; and HERNÁNDEZ, Miguel A. El Diseño Urbanístico Con Criterios Energéticos Sostenible. Aplicación Informática Para Municipios. El Proyecto URSOS, 2002.

VALENZUELA RUBIO, M. Ciudades y Sostenibilidad: El Mayor Reto Urbano Del Siglo XXI. Lurralde: Investigación y Espacio, no. 32, pp. 405-436, 2009.

Capítulo 5:

BRÖDE, P., D. FIALA, K. BŁAŻEJCZYK, I. HOLMÉR, et al. Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). International Journal of Biometeorology, (Earth and Environmental Science), 2011.

BRUSE, M. ENVI-met implementation of the Jacobs A - gs Model to calculate the stomata conductance (Working paper), 2004.

BRUSE, M. ENVI-Met Website. Online: [Http://www.Envimet.Com](http://www.Envimet.Com), 2004.

BRUSE, M.; and FLEER, H. Simulating surface-plant-air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model. *Environmental Modelling & Software*, 1998, vol. 13, no. 3, pp. 373-384.

BRUSE, M.; and SKINNER, C. J. Rooftop Greening and Local Climate: A Case Study in Melbourne, 1999.

BRUSE, Michael; and FLEER, Heribert. Simulating surface-plant-air Interactions Inside Urban Environments with a Three Dimensional Numerical Model. *Environmental Modelling and Software*, 10, vol. 13, no. 3-4, pp. 373-384, 1998.

DEFRAEYE, T. AND J. CARMELI et al. methodology to assess the influence of local wind conditions and building orientation on the convective heat transfer at building surfaces. *Environmental Modelling & Software*, 25(12), 1813-1824, 2010.

ERELL, E. AND T. WILLIAMSON Comments on the correct specification of the analytical CTC model for predicting the urban canopy layer temperature. *Energy and Buildings*, 38(8), 1015-1021. Aug 2006.

FARIÑA TOJO, José. Ciudades Menos Insostenibles. *Boletín CF S*, 2003, no. 25.

FARIÑA TOJO, José. La Ciudad y El Medio Natural. . Akal ed., 3rd ed. Madrid: Akal, 2007.

FARIÑA TOJO, José. Naturaleza Urbana. Boletín CF S, 2001, no. 15.

FARIÑA TOJO, José. Sostenibilidad y Racionalidad de los Procesos de Urbanización. Boletín CF S, 2003, no. 24.

FARIÑA TOJO, José; and NAREDO, José M. Libro Blanco De La Sostenibilidad En El Planeamiento Urbanístico Español. Madrid: Ministerio de Vivienda, 2010.

GADSDEN, S., M. RYLATT, K. LOMAS AND D. ROBINSON Predicting the urban solar fraction: a methodology for energy advisers and planners based on GIS. Energy and Buildings, Jan 2003b, 35(1), 37-48.

GULYÁS, Á.; UNGER, J. and MATZARAKIS, A. Assessment of the Microclimatic and Human Comfort Conditions in a Complex Urban Environment: Modelling and Measurements. Building and Environment, 12, vol. 41, no. 12, pp. 1713-1722, 2006.

IDCZAK, M. , et al. An Application of the Thermo-Radiative Model SOLENE for the Evaluation of Street Canyon Energy Balance. Building and Environment, vol. 45, no. 5, pp. 1262-1275, 2010.

Capítulo 6:

ROBINSON, D. Computer Modelling for Sustainable Urban Design: Physical Principles, Methods and Applications. Earthscan, 2011.

ROBINSON, D. Some Trends and Research Needs in Energy and Comfort Prediction, 2006.

Programas Informáticos empleados

CYPE INSTALACIONES versión 2011.d en simulación cargas refrigeración en edificios versión estudiante. Cype Ingenieros software para arquitectura, ingeniería y construcción

VASARI v2.1 Autodesk

VPCLIMA Universidad Politécnica de Valencia cargas de refrigeración en edificios y gestión de datos climáticos

METEONORM en generación de datos climáticos

ENERGYPLUS V8.0 análisis energético conforme a base climática propia

PROYECTO INVESTIGACIÓN NANOCLIMA optimización del ahorro energético: nanoclimas urbanos en Madrid N° de exp. 2012-14 ESTRUCTURA ORGÁNICA



Escuela Superior de Arquitectura y Tecnología E S A y T

2015

GRUPO DE INVESTIGACIÓN		ARQUITECTURA BIOCLIMÁTICA Y AHORRO ENERGÉTICO Grupo B E T A: Bioclimática - Energía – Territorio - Arquitectura	
Investigador Responsable	Dra. Alicia Ozámiz Fortis		
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN	NANOCLIMA	Optimización del ahorro energético: nanoclimas urbanos en Madrid	
Financiación	UCJC. N° Expediente 2012-14 I Convocatoria I+D+i de Ayudas a la Investigación Competitiva PCE-Ibérica		
Duración	3 años (I-2013 a XII-2015)		
Miembros del equipo			
Investigador Principal (IP)	Dra. Alicia Ozámiz Fortis	[Dir. Investigación y Postgrado] Prof. Dra. Dpto. Arq y Edificación	
Investigadores del Gpo B E T A	Dr. José Miguel de Prada Poole	Prof. Emérito UCJC [M*] y UPM Experto. Inspirador del Proyecto	
	Juan Carlos Carmona Casado	[Prof. Dpto. Arq y MEEyAB*] Doctorando. Coordinador de Becarios:	
Becarios (FPI) (Formación Personal Investigador)	Miguel Ángel Diego Alonso	Estudiantes Arquitectura [5º, PFC]	Beca A Trabajo de Campo
	Javier García Fdez-Carrión		
	Natalia Quintanar Fdez		
	Fernando Campos Alguacil	Arquitectos Estudiantes MEEyAB*	Beca B Antecedentes Beca B Mod Virtual
	Tamara Pérez Santiago		
Daniel Otero García			

M* Máster Universitario en Eficiencia Energética y Arquitectura Bioclimática: MEEyAB