

# Trabajo Fin de Grado

## Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

### Protocolo de obtención de líneas base

Autor: M<sup>a</sup> Carmen González Pérez

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

Co-tutor: José Sánchez Ramos

Dep. Ingeniería Energética  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla

Sevilla, 2016





Trabajo de Fin de Grado  
Grado en Ingeniería de Tecnologías Industriales

## **Protocolo de obtención de líneas base**

Autor:

M<sup>a</sup> Carmen González Pérez

Tutor:

Servando Álvarez Domínguez

Catedrático de Universidad

Co-tutor:

José Sánchez Ramos

Investigador

Dep. de Ingeniería Energética.  
Escuela Técnica Superior de Ingeniería  
Universidad de Sevilla  
Sevilla, 2016



Trabajo de Fin de Grado: Protocolo de obtención de líneas base

Autor: M<sup>a</sup> Carmen González Pérez

Tutor: Servando Álvarez Domínguez

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

Presidente:

Vocales:

Secretario:

Acuerdan otorgarle la calificación de:

Sevilla, 2016

El Secretario del Tribunal



*A él, por estar aunque ya no esté*



# Agradecimientos

---

Quiero comenzar dando las gracias a Servando Álvarez por la confianza que ha depositado en mí dándome dos oportunidades únicas, entre ellas la posibilidad de realizar este proyecto. Agradecer de igual modo a José Sánchez por soportarme tantos meses, por su paciencia y sobre todo por permitirme aprender tanto de él.

A mi familia, en especial a mis padres por aguantar mis malos días y los aún peores, por alentarme cada día y por hacer de mí la persona que hoy soy. A mi hermana, por cada chocolate con una nota de ánimo y cada conversación cuando flaqueaban las fuerzas. Y a mi abuela, por sus llantos de emoción con cada etapa completada.

A mis amigos, particularmente a Mari por ser ella y soportar que estando de vacaciones trabajase en este proyecto, a Lucía por ser mi alma gemela durante estos años de carrera, y a todas esas personas que desde hace poco tiempo me han enseñado que “la vida son más cosas”.

A todos, gracias de corazón.

*M<sup>a</sup> Carmen González Pérez*

*Sevilla, 2016*



# Resumen

---

Existe una necesidad de evaluar la eficiencia energética de los edificios, pero se carece de un protocolo o guía que ayude a las distintas empresas y organizaciones al cálculo de un modelo a partir del que poder obtener dicha eficiencia. Es por ello que el objetivo principal de este proyecto es desarrollar un protocolo para la obtención de líneas base así como aplicarla a un sector que a día de hoy está desatendido, el residencial.

La línea base que se obtiene es un modelo de temperatura interior para viviendas que no hacen uso de sistemas de climatización. Para la obtención de dicho modelo se establecerán los datos de partida que son necesarios para su elaboración, además de un estudio climático para la obtención de los datos exteriores requeridos, así como la creación de una ley solar para cada vivienda que permita corregir la radiación según su orientación.

Igualmente se pretende demostrar la utilidad que tiene el modelo creado aplicándolo a viviendas reales y realizando diversos estudios sobre los resultados obtenidos.



# Abstract

---

There is a need to evaluate the energy efficiency of buildings, but is wanting a protocol or guide to help the different companies and organizations to calculate a model from which to obtain such efficiency. This is the main objective of this project, develop a protocol for obtaining baselines and apply it to a sector that today is unattended, the residential sector.

The baseline you get is a model of residence internal temperature without air conditioning systems. To obtain such models we set the baseline data which are necessary for its preparation, and a climate study for obtaining the required external data as well as the production of a solar law for each property that allows correct radiation by orientation.

Also it aims to demonstrate the usefulness of the model created by use it to real homes and do studies with them.

# Índice

---

<b>Agradecimientos</b>	<b>ix</b>
<b>Resumen</b>	<b>xi</b>
<b>Abstract</b>	<b>xiii</b>
<b>Índice</b>	<b>xiv</b>
Índice de Tablas	xvii
Índice de Figuras	xix
<b>Índice de Ecuaciones</b>	<b>xxi</b>
<b>Objetivo y Alcance</b>	<b>1</b>
<b>1 Introducción</b>	<b>3</b>
1.1. <i>Estado del arte</i>	7
1.1.1. EVO	7
1.1.2. DEXMA	9
1.1.3. AENOR	10
1.1.4. Departamento de Energía de EE.UU (DOE)	11
1.1.5. Conclusiones	13
1.2. <i>Análisis de la normativa</i>	13
1.2.1. UNE 50001-2011	13
1.2.2. ISO 50002	14
1.2.3. ISO 50003:2014	14
1.2.4. ISO 50004:2014	14
1.2.5. ISO 50006:2014	15
1.2.6. ISO 50015	18
<b>2 Protocolo</b>	<b>21</b>
2.1. <i>Descripción</i>	21
2.2. <i>Modelo de caracterización</i>	21
2.2.1. Modelo Q-T	22
2.2.2. Modelo integrado de consumo	23
2.3. <i>Protocolo</i>	24
2.3.1. Etapa 1: Recopilación y verificación de datos	24
2.3.2. Etapa 2: Determinación de la estación intermedia	24
2.3.3. Determinación de la línea base	24
2.4. <i>Explotación de la línea base</i>	27

2.4.1. Origen de los modelos de confort térmico	27
2.4.2. Método de Fanger	27
2.4.3. Métodos de confort adaptativo	30
2.4.4. Magnitudes derivadas para la evaluación del grado de confort	32
<b>3 Aplicación del protocolo sobre las viviendas de AVRA</b>	<b>37</b>
3.1 Alcance	37
3.2 Estudio del caso	37
3.2.1 Descripción de las viviendas	38
3.2.3. Orientación de la vivienda	39
3.2.4 Revisión de los datos	40
3.3. Datos climáticos	42
3.3.1 Descripción	42
3.3.2 Resultados	43
3.3.3 Conclusión	45
3.4. Temperatura interior	45
3.4.1. Descripción	45
3.4.2 Resultados	46
<b>4 Aplicaciones</b>	<b>49</b>
4.1 Alcance	49
4.2. Herramienta Unificada Lider-Calener	49
4.3. Determinación de la estación intermedia	50
4.3.1. Simulación	50
4.3.2. Consumos	53
4.4. Líneas Base	57
4.3.1. Determinación del número de coeficientes	57
4.4.2. Verificación	58
4.5. Estudios comparativos	59
<b>5 Conclusiones y Líneas Futuras</b>	<b>63</b>
5.1. Conclusiones	63
5.2. Líneas futuras	63
<b>6 Referencias</b>	<b>65</b>
<b>7 Anexos</b>	<b>68</b>
7.1. Verificación de los datos	69
7.2. Análisis de datos	73
7.3. Pendientes de las rectas de regresión	75
7.4. Líneas base	76



# Índice de Tablas

---

Tabla 2. 1. Temperaturas de diseño en diferentes tipos de espacios <sup>[25]</sup> .	29
Tabla 3. 1. Orientación de los bloques.	39
Tabla 3. 2. Especificaciones del monitor de consumo de energía eléctrica.	40
Tabla 3. 3. Especificaciones del registrador de temperatura.	41
Tabla 3. 4. Especificaciones del registrador de humedad relativa.	41
Tabla 3. 5. Superficies de las habitaciones.	46
Tabla 4. 1. Porcentaje de horas en condiciones de confort de V10.	50
Tabla 4. 2. Percentiles.	56
Tabla 4. 3. Parámetros de las viviendas.	59
Tabla 4. 4. Áreas y UA de cada vivienda.	59
Tabla 4. 5. Clasificación en invierno.	59
Tabla 4. 6. Clasificación área solar en verano.	60
Tabla 4. 7. Comparación estudios de confort.	61
Tabla 4. 8. Ranking según IPF.	62



# Índice de Figuras

---

Figura 1. 1. Consumos de energías primarias. Fuente: BP Statistical Review.	3
Figura 1. 2. Consumo de energía en edificios residenciales y terciarios.	4
Figura 1. 3. Confort térmico.	6
Figura 1. 4. Evolución AROPE en España 2004-2014. Fuente: ACA.	6
Figura 1. 5. Porcentaje de hogares en pobreza por CCAA en 2013.	7
Figura 1. 7. Ejemplo EVO.	8
Figura 1. 8. DEXCell Energy Manager.	9
Figura 1. 9. Ejemplo consumo eléctrico DEXMA.	10
Figura 1. 10. Estructura elemental de una línea de base.	11
Figura 1. 11. Ahorro en función del uso y desempeño.	12
Figura 1. 12. Métodos de M&V.	13
Figura 1. 13. Modelo de sistema de gestión de la energía.	14
Figura 1. 14. Relación entre rendimiento energético, EnPIs, EnBs y objetivos.	15
Figura 1. 15. Información general sobre la medición de la eficiencia energética.	16
Figura 1. 16. Pasos fundamentales en el proceso de M&V.	19
Figura 2. 1. Visión general de los componentes del consumo.	23
Figura 2. 2. Algoritmo para la obtención del modelo.	26
Figura 2. 3. Proporción prevista de personas insatisfechas según la diferencia de temperatura.	29
Figura 2. 4. Regresión lineal entre la temperatura de confort y la media exterior.	30
Figura 2. 5. Comparativa de la evolución del Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI).	32
Figura 2. 6. Comparativa de la temperatura de confort.	32
Figura 2. 7. Comparativa de los parámetros cuantitativos del disconfort.	34
Figura 2. 8. Evaluación del confort en verano a partir de la temperatura de confort de Fanger.	35
Figura 2. 9. Evaluación del confort en verano a partir de la temperatura de confort adaptativo.	35
Figura 3. 1. Localización Almánjayar.	37
Figura 3. 2. Zonificación según la radiación solar (CTE).	38
Figura 3. 3. Localización.	38
Figura 3. 4. Radiación solar.	39
Figura 3. 5. Ubicación sensores.	40
Figura 3. 6. Revisión de los datos por piso.	42
Figura 3. 7. Estaciones meteorológicas de Granada.	42
Figura 3. 8. Localización estaciones meteorológicas.	43
Figura 3. 9. Vivienda vs media entre estaciones.	44
Figura 3. 10. Vivienda vs estación El Padul.	44

Figura 3. 11. Vivienda vs estación Iznalloz.	44
Figura 3. 12. Comparación radiación.	45
Figura 3. 13. Gráficas $T_{\text{salón}}$ vs $T_{\text{vivienda}}$ .	46
Figura 3. 14. Recta de regresión $T_{\text{salón}}$ vs $T_{\text{viv}}$ .	47
Figura 4. 1. Ejemplos modelo Lider-Calener.	50
Figura 4. 2. Tabla paramétrica.	51
Figura 4. 3. Obtención línea de regresión.	52
Figura 4. 4. Línea de regresión.	52
Figura 4. 5. Representación del área de captación solar.	53
Figura 4. 6. Consumos horarios Octubre V10.	53
Figura 4. 7. Consumos horarios Octubre V20.	54
Figura 4. 8. Perfiles de consumo.	55
Figura 4. 9. Consumo real días Octubre V10.	55
Figura 4. 10. Consumos diarios V10.	56
Figura 4. 11. Consumos diarios V10.	56
Figura 4. 12. Prueba modelo.	57
Figura 4. 13. Modelo final estación intermedia.	58
Figura 4. 14. Verificación modelo.	58
Figura 4. 15. Línea base anual vs datos medidos.	58
Figura 4. 16. Gráfica comparación estudios de confort.	61
Figura 4. 17. Gráfico distribución de viviendas.	62

# ÍNDICE DE ECUACIONES

---

Ecuación 2. 1. Definición del modelo de caracterización simplificado.	22
Ecuación 2. 2. Línea base de temperatura interior.	23
Ecuación 2. 3. Ley solar.	25
Ecuación 2. 4. Expresión lineal temperatura de confort.	31
Ecuación 2. 5. Temperatura de confort con la temperatura exterior.	31
Ecuación 2. 6. Confort a partir de $T_{m}$ .	31
Ecuación 2. 7. Límite diario máximo.	36
Ecuación 3. 1. Temperatura de la vivienda.	45
Ecuación 4. 1. Área de captación solar.	51
Ecuación 4. 2. Ley solar.	51
Ecuación 4. 2. Ley solar V11.	57



# OBJETIVO Y ALCANCE

---

El presente proyecto tiene como objetivo principal desarrollar un protocolo para la obtención de líneas base así como aplicar dichas líneas a un sector que a día de hoy está desatendido, el residencial. Esta línea es un modelo de temperatura interior para viviendas que no hacen uso de sistemas de climatización.

Este proyecto nace de la carencia de una guía que ayude a las distintas empresas y organizaciones al cálculo del citado modelo y especialmente de la falta de desarrollo de este tipo de cálculos en el sector residencial.

Para poder obtener esta línea base se establecerán los datos de partida que son necesarios para su elaboración, además de un estudio climático para la obtención de los datos exteriores requeridos, así como la creación de una ley solar para cada vivienda que permita corregir la radiación según su orientación.

El documento posee la siguiente distribución:

- El Capítulo 1, donde se hace una introducción para mostrar el ámbito en el que mueve este proyecto, así como la motivación y justificación de porqué aplicarlo al sector doméstico. Además muestra el contexto referente a la normativa aplicable existente así como el uso que diferentes empresas hacen de estas líneas base.
- El Capítulo 2 contiene la guía seguida y desarrollada durante los meses de realización del proyecto, consiguiendo así, un protocolo útil para la elaboración de líneas base en viviendas. Para su mejor comprensión y aplicación, dicho protocolo se ha dividido en etapas. Igualmente, en este capítulo se explica el modelo de caracterización simplificado que se ha seguido para el cálculo de las líneas base.
- El Capítulo 3 abarca la exposición del caso que se ha utilizado tanto para la obtención del protocolo, como para la verificación y desarrollo del mismo. En él se recoge toda la información necesaria para poder realizar el modelo.
- El Capítulo 4 comprende las aplicaciones que la metodología expuesta en el capítulo 2 tiene, haciendo uso de los datos del caso expuesto en el capítulo 3.
- Además este documento cuenta con unos Anexos donde se incluyen los resultados de los diferentes estudios realizados.
- Para finalizar se expondrán las conclusiones y líneas futuras que se obtienen de este trabajo.



# 1 INTRODUCCIÓN

*Nunca consideres el estudio como una obligación, sino como una oportunidad para penetrar en el bello y maravilloso mundo del saber.*

*- Albert Einstein -*

La energía es el impulso y un requisito fundamental para el desarrollo tanto social como económico. Desde la Revolución Industrial, el consumo energético mundial no ha parado de aumentar. Hoy por hoy, la utilización de dicha energía está ligada al estilo de vida, se consume más energía cuanto más desarrollada está una sociedad. Es por ello que, durante los últimos veinte años el reclamo de productos energéticos se ha incrementado en un 3% anual a nivel mundial.

Este hecho lleva a pensar en la situación energética actual. Como se puede ver en la Figura 1.1 a nivel mundial, el consumo de energía primaria se basa en energías no renovables. Aún así, no existe un grave problema con el suministro ya que se puede producir lo que se demanda. Pero al ser fuentes no renovables, éstas tardan millones de años en crearse por lo que en un futuro no muy lejano, no se podrán ofertar o su precio será excesivamente elevado.

España es un país muy dependiente energéticamente del petróleo, superando la media tanto europea como mundial. Esto hace que el país tenga una gran vinculación en este ámbito con el exterior. Esto también sucede en Europa donde actualmente se importa el 50% de la energía consumida y de la que se prevé que alcance el 70% en 2030.



Figura 1. 1. Consumos de energías primarias. Fuente: BP Statistical Review.

Otro problema que crea el consumo de energías no renovables son las emisiones y otros impactos medio ambientales que tanto su extracción como su transformación y transporte crean. Por ejemplo, la combustión del gas, del carbón o de los derivados petrolíferos generan emisiones tales como el CO<sub>2</sub> y el CO entre otros, que contribuyen a la generación y el aumento del efecto invernadero, la lluvia ácida o la contaminación del suelo, del aire y el agua.

Por estos problemas, la Unión Europea está llevando a cabo el plan Horizonte 2020 (H2020)<sup>[6]</sup>. Éste es el Programa Marco de Investigación e Innovación de la UE entre 2014-2020, que tiene como retos sociales, entre otros, la energía, el cambio climático y el uso eficaz de los recursos.

Además, otro dato importante es que, en Europa, el 40% de la energía total utilizada es consumida por los edificios y de éstos, más del 20% de dicha energía es desaprovechada. La mayor parte de ese consumo es debido a la calefacción y refrigeración de éstos. Es por ello que la Comisión Europea en su Estrategia relativa a la calefacción y refrigeración<sup>[7]</sup>, busca que el acondicionamiento, tanto en hogares como en empresas, sea más sostenible y eficiente. Asimismo, promueve la reducción de las importaciones y dependencias energéticas, de los costes, de las emisiones de gases de efecto invernadero además de cumplir con el acuerdo alcanzado en la Conferencia de París (COP21) sobre el clima.

Por todo eso, se plantea una necesidad inmediata de ahorro y reducción de la demanda. El método más sencillo y veraz de evaluación de ahorros, así como de medida de eficiencia para la certificación energética son las líneas base.

Según la norma ISO 50001<sup>[11]</sup> la línea base es “una referencia cuantitativa que proporciona la base de comparación del desempeño energético”. Además indica que ésta “refleja un período especificado” así como que “puede normalizarse utilizando variables que afecten al uso y/o consumo de la energía” y que es útil para el cálculo de ahorros.

A día de hoy se carece de un protocolo que proporcione a las empresas de los distintos sectores una ayuda para la obtención de dichas líneas. De esa carencia nace el presente proyecto.

Diversos estudios verifican que los sectores que abarcan mayor número de consumidores finales de energía, y por tanto tienen un mayor potencial de ahorro, son el sector de la vivienda y el terciario. Esto es debido fundamentalmente al uso de la calefacción y refrigeración, del alumbrado y de los aparatos eléctricos.

Como se observa en la Figura 1.2 en ambos casos el mayor consumo se debe a la climatización, siendo éste más acusado en el sector terciario. El consumo de climatización es el que más potencial de ahorro tiene motivado sobre todo por el mal uso que se hace de él.

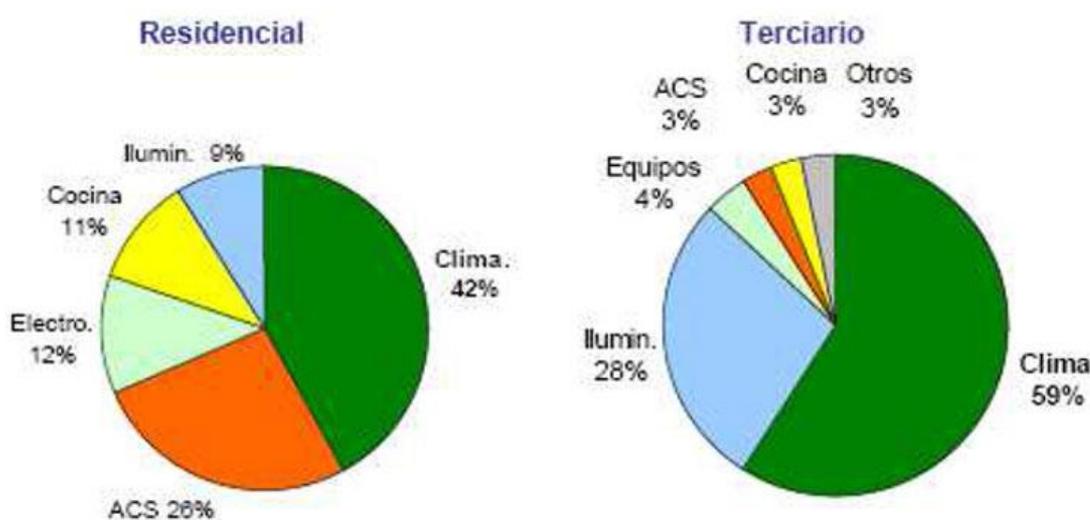


Figura 1. 2. Consumo de energía en edificios residenciales y terciarios. Fuente: Secretaría General de Energía.

El ahorro en los edificios terciarios se ve promovido por la política energética existente en España. Éstos

requieren un tratamiento diferente a la vivienda debido a la necesidad de retorno de la inversión, por su mayor tasa de rehabilitación y la importancia que en estos edificios tienen las medidas pasivas.

El principal problema en este sector nace de la demanda. Para los edificios construidos, la demanda está definida por la orientación y la envolvente térmica del mismo, las condiciones climáticas, así como de las cargas internas. La mayoría de estos factores son variables en el tiempo, lo que lleva a una demanda también variable.

Este sector tiene un potencial de ahorro muy elevado, es por ello que tanto la normativa actual como las empresas líderes en el sector energético, se centran en la evaluación energética y el cálculo de ahorros en edificios terciarios.

El estudio sobre éstos concluye aquí ya que dos compañeras pertenecientes al mismo grupo de líneas base, han dado solución para dos tipos de ellos, Beatriz Calderón en su trabajo “Obtención de líneas base: Aplicación a Edificios Sanitarios”<sup>[9]</sup> y M<sup>a</sup> del Carmen Pavón en “Obtención de líneas base: Aplicación a Edificios de Oficinas y Sedes Judiciales”<sup>[10]</sup>.

Por ello, se va a analizar el otro foco de interés que se ha detectado, las viviendas. El sector doméstico es clave en el entorno energético ya que sus exigencias energéticas en la UE suponen el 31% del consumo de la energía total, siendo en España de un 20%. Esto se debe a que las personas que en ellas habitan, utilizan recursos energéticos para crear un espacio confortable y saludable.

Así, aparece el concepto de vivienda saludable. Una vivienda saludable es aquel espacio de residencia que promueve la salud de sus habitantes. De la misma forma, en la Conferencia Hábitat II en 1996 con sede en Estambul (UN-HABITAT, 1996)<sup>[4]</sup> se definió el concepto de “vivienda adecuada” similar al de vivienda saludable:

*“Una vivienda adecuada significa algo más que tener un techo bajo el que guarecerse. Significa también disponer de un lugar privado, espacio suficiente, accesibilidad física, seguridad adecuada, seguridad de tenencia, estabilidad y durabilidad estructurales, iluminación, calefacción y ventilación suficientes, una infraestructura básica adecuada que incluya servicios de abastecimiento de agua, saneamiento y eliminación de desechos, factores apropiados de calidad del medio ambiente y relacionados con la salud, y un emplazamiento adecuado y con acceso al trabajo y a los servicios básicos, todo ello a un costo razonable.”*

Esto lleva a la definición de dos nuevas ideas: el confort y la situación de pobreza energética, motivos por los que se va a hacer hincapié en este sector.

Comenzando por el concepto de confort, este estudio se centrará en el confort térmico ya que es el que afecta al presente trabajo. Una vivienda está en condiciones de confort térmico cuando en ella no se experimenta sensación de calor o frío, lo que es lo mismo, que las condiciones de temperatura, humedad y movimiento del aire sean lo adecuados con la actividad que se desarrolla.



Figura 1. 3. Confort térmico.

En cuanto a la temperatura, el rango de confort se centra alrededor de los 20°C en invierno y sobre unos 25°C en verano. Para un estado de bienestar es importante también que el gradiente de temperatura entre los pies y la cabeza no supere los 3 grados. Con respecto a la humedad relativa del aire, lo adecuado para la salud humana es de un mínimo del 30-40% y un 60-70% como máximo. Por último, el aire debe llevar una velocidad entre 0,1 y 0,2 m/s ya que de esta forma no son perceptibles siendo agradables y deseables.

Pero para poder conseguir dicha situación de confort es necesario el uso de recursos energéticos. Aquí es cuando aparece el concepto de la pobreza energética, sobre la que existe mucho debate, pero es una clara realidad. Hay un gran número de personas que no tienen recursos para aplicar los usos energéticos que harían que su vivienda funcionase según los estándares de confort.

La situación de pobreza energética se ha agudizado en los últimos tiempos debido a que la sociedad tiene menos recursos por la crisis económica ya que la factura energética, de forma general, ha aumentado. Un buen indicador para ver esta situación es la tasa de riesgo de pobreza y exclusión social, AROPE (del inglés, At-Risk-Of Poverty and Exclusion), que se representa en la Figura 1.4.

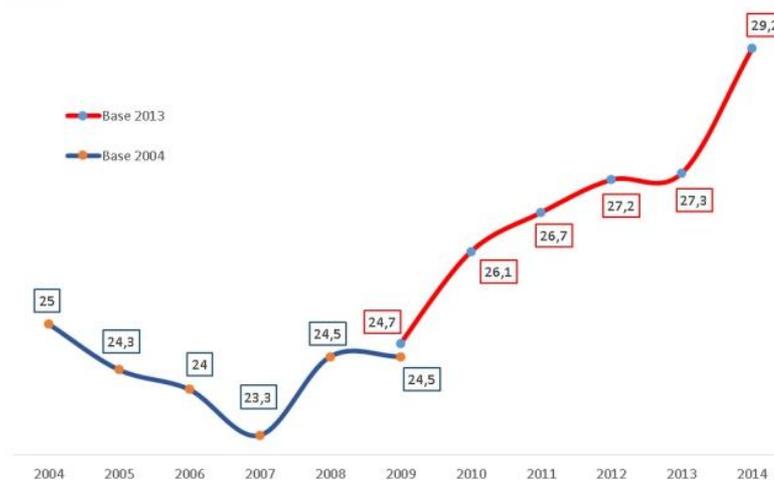


Figura 1. 4. Evolución AROPE en España 2004-2014. Fuente: ACA.

Cuando una familia no tiene recursos, el uso de la calefacción y la refrigeración es de las primeras cosas que se

eliminan, saliendo así de la zona de confort y provocando daños colaterales. Uno de los más importantes son las enfermedades llegando, en casos extremos, a provocar defunciones. Las enfermedades suponen baja laboral y baja productividad por lo que se ve que existe un trasfondo económico importante, afectando a toda la sociedad.

Es más, una gran parte de los incendios que se producen en invierno en determinadas comunidades se deben a que las personas encienden fuego en sus casas por no poder permitirse el uso de calefacción. Según ACA (Asociación de Ciencias Ambientales) la tasa de mortalidad en la estación invernal se ve incrementada entre un 10 y un 40% con respecto a las estaciones intermedias, motivado por la situación de pobreza existente.

Las consecuencias económicas de unos edificios que se colocan fuera de confort, no sólo sucede en España si no que muchos países son los que se ven afectados por este hecho.

A todo esto se le debe añadir el endurecimiento de la reglamentación. En 2006 hubo una actualización del Código Técnico de la Edificación (CTE)<sup>[26]</sup> vigente para toda Europa. En ese momento se hizo un estudio para ver cómo estaban los edificios que cumplían con dicho código. Si un edificio se ha construido a partir de 2013 y se ha cumplido la reglamentación vigente, se puede decir que dicho edificio no está en situación de pobreza.

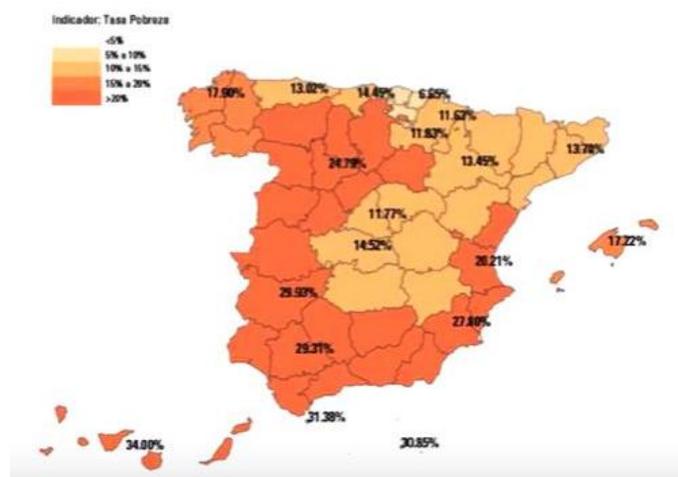


Figura 1. 5. Porcentaje de hogares en pobreza por CCAA en 2013. Fuente: Grupo Termotecnia.

## 1.1. Estado del arte

Se ha comprobado que existe una necesidad pero ¿qué se hace actualmente al respecto? En este apartado se va a describir cómo diferentes empresas u organizaciones utilizan las líneas base en diferentes aspectos relacionados con la eficiencia energética. Sin embargo, ninguno de ellos hace referencia a la obtención de las mismas ni a la aplicación en el sector residencial, corroborando así la necesidad del presente estudio.

### 1.1.1. EVO

Efficiency Valuation Organization, EVO, es una organización sin ánimo de lucro que busca ayudar a los ingenieros e invertir en productos de eficiencia energética. Esta organización es la única en el mundo dedicada a la creación de herramientas de medida y verificación (M&V) permitiendo así el progreso de la eficiencia. El plan de medida y verificación aporta un método sistemático para determinar el rendimiento energético para los usos finales de la instalación. The International Performance Measurement and Verification Protocol (IPMVP)<sup>[19]</sup> suministra un borrador de dicho plan.

El IPMVP distingue cuatro métodos de medida y verificación:

- A: Verificación Aislada de la Medida de la Eficiencia (MMEE): medición del parámetro clave. El ahorro se obtiene midiendo el parámetro clave en la instalación determinando así el consumo energético. En función de la variación que se prevea de dicho parámetro y de la duración del periodo de referencia, la medición puede ser puntual o continua.

A partir de datos históricos, de especificaciones del fabricante o de suposiciones técnicas se realizan estimaciones de los parámetros que no han sido medidos, pudiendo así calcular el ahorro estimado a partir de dichos parámetros.

- B: Verificación Aislada de la MMEE: medición de todos los parámetros. En este caso, el ahorro se determina midiendo el consumo de energía de la instalación. Al igual que en la opción A, la medición puede ser continua o puntual.
- C: Verificación de toda la instalación. Esta opción se fundamenta en la monitorización del consumo energético de toda la instalación o de parte de la misma. Para esta alternativa, la medición ha de ser continua.
- D: Simulación calibrada. Consiste en la obtención del ahorro simulando el consumo de energía de parte o de toda la instalación. Esta simulación debe ser capaz de ajustar el rendimiento energético real de la instalación.

Para el caso de la evaluación integral de un edificio las opciones propias serían, o bien la opción C o bien la opción D. Todas las alternativas anteriores necesitan de una línea base energética para la estimación tanto de ahorros como de consumos, obteniendo así modelos que, una vez son calibrados, se asemejen lo máximo posible a la realidad.

En su página web<sup>[18]</sup>, EVO describe la documentación que debe ser entregada para obtener un buen plan de M&V así como un buen cálculo de ahorros. Además, en ella hay ejemplos de M&V aplicados a diferentes equipos y situaciones en los cuales utiliza las líneas base, así como un ejemplo simplificado en Excel (ver Figura 1.7) donde obtiene la línea base de consumo y de demanda para un año así como éstas mismas respecto a los grados días de calefacción (en inglés, heating degree days, HDD). Es destacable que los cálculos realizados en dicha hoja Excel están en base mensual.

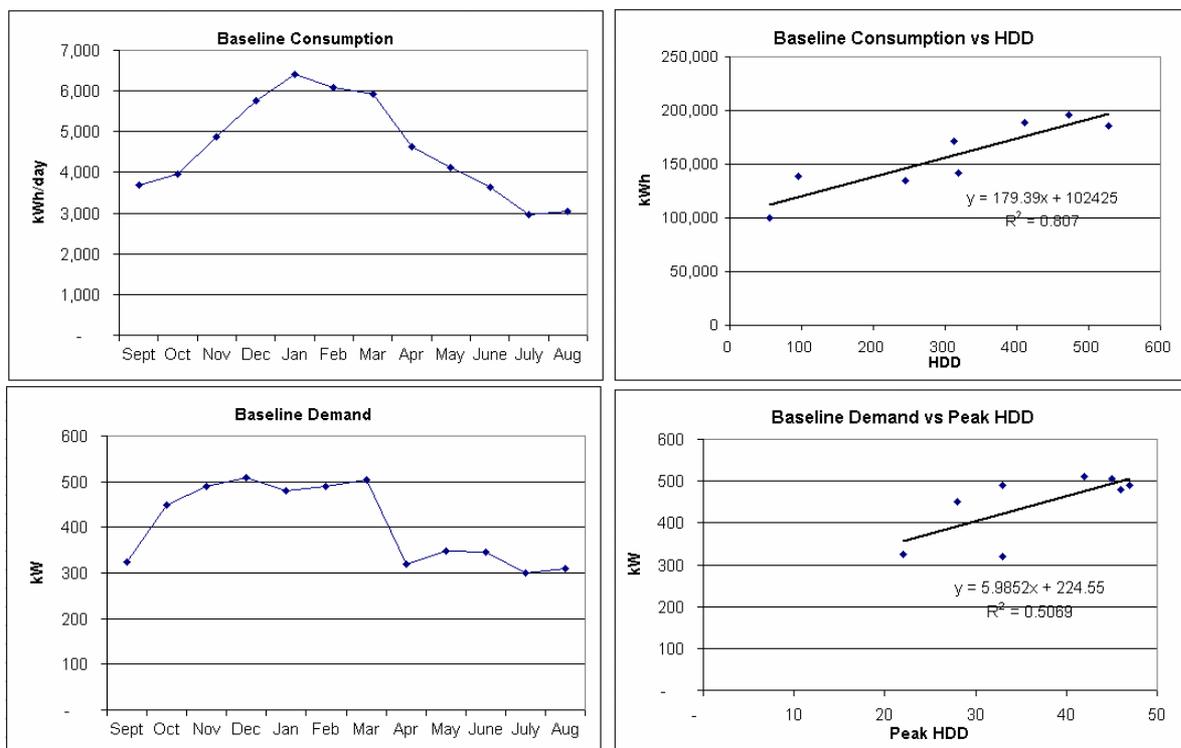


Figura 1. 6. Ejemplo EVO.

### 1.1.2. DEXMA

DEXMA Energy Management es una empresa fundada en 2007 en Barcelona que ofrece un software flexible y rentable que integra herramientas que permite la visibilidad completa del consumo energético. Proponen como solución a la gestión energética la aplicación DEXCell Energy Manager (Figura 1.8). Ésta combina la monitorización avanzada, así como el análisis, las alertas, la creación de informes y de paneles de control en una plataforma de fácil uso.

En la página web<sup>[17]</sup> de esta compañía se encuentran diferentes ejemplos de actuación en gestión energética, todos referidos a edificios del sector terciario como son supermercados u oficinas. En todos ellos plantean una solución similar que consiste en medir y monitorizar los consumos que tiene la instalación. Un medidor irá a la acometida general de electricidad y dependiendo del uso del edificio y de los equipos que posea el resto de medidores se ubicarán en la acometida de frío industrial, de gas, de HVAC,... Esta información se obtendrá en tiempo real.

Una vez recogidos los datos, haciendo uso de la aplicación antes mencionada, se consigue analizar y gestionar la energía detectando así posibles ineficiencias energéticas.



Figura 1. 7. DEXCell Energy Manager.

Esta herramienta permite obtener los consumos horarios de un período y compararlo con uno de la misma magnitud anterior (Figura 1.9), el consumo del mes presente y lo contrasta con el anterior así como hacer estimaciones mediante simulación del consumo anual, proporcionando el ahorro que se podría producir al reducir el consumo. Además esta aplicación genera informes sobre los costes producidos, documentando así, los incrementos o disminuciones en la potencia base que se producen semanalmente.

Una característica peculiar de este software es que crea alertas, avisando así al cliente, cuando los valores de consumo que se producen son superiores al máximo estimado.

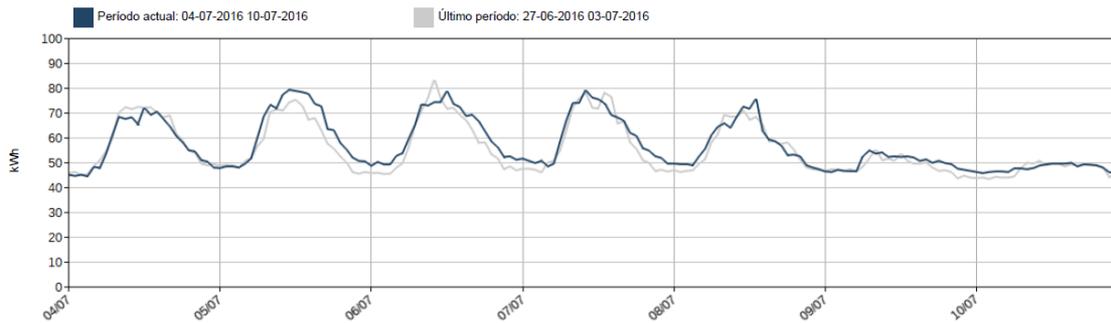


Figura 1. 8. Ejemplo consumo eléctrico DEXMA.

### 1.1.3. AENOR

La Asociación Española de Normalización y Certificación (AENOR) es una entidad privada sin fines lucrativos. Su actividad contribuye a una mejora en la calidad y competitividad de las empresas, sus productos y servicios a través del desarrollo de normas técnicas y certificaciones. Un claro ejemplo es la contribución de AENOR en la elaboración de la Norma ISO 50001.

En el libro “Gestión de la eficiencia energética: cálculo del consumo, indicadores y mejora”<sup>[21]</sup> editado por esta asociación, se expone una forma de establecer la línea base a partir de la tabla representada en la Figura 1.10. Esta tabla representa una matriz donde las cuatro columnas situadas a la izquierda recogen el inventario de instalaciones, así como los equipos que la componen, la tipología de energía consumida y las áreas donde se ubican. Por su parte, las columnas situadas más a la derecha reúne el conjunto de indicadores de desempeño que la organización crea apropiado. Esta tabla se completa calculando los indicadores para un periodo base, que suele ser de un año.

Esta recopilación de información sirve como base para comparar otros periodos anteriores o posteriores al del cálculo pudiendo obtener correlaciones que evalúen el desarrollo del desempeño energético.

Inventario instalaciones y equipos			Áreas de actividad	Indicadores de desempeño energético					
			Área 1	Intensidad energética (energía/unidad económica relevante)	Eficiencia energética	Otros 1	Otros 2	....	Otros n
Instalación 1	equipo 1	combustible 1							
		combustible n							
		energía eléctrica 1							
		otros consumos							
	equipo 2								
		3							
4									
5									
...									
Instalación 2	equipo 1								
	...								
Instalación n	equipo 1								
	...			Área 2					
Instalación 1	equipo 1	combustible 1							
		combustible n							
		energía eléctrica 1							
		otros consumos							
	equipo 2								
		3							
4									
5									
...									
Instalación 2	equipo 1								
	...								
Instalación n	equipo 1								
	...			Área n					

Figura 1. 9. Estructura elemental de una línea de base.

**1.1.4. Departamento de Energía de EE.UU (DOE)**

El Departamento de Energía de Estados Unidos (en inglés, Department of Energy, DOE), trabaja con un Programa Federal de Gestión de la Energía<sup>[22]</sup> (FEMP por sus siglas en inglés). Este programa permite la cuantificación y verificación de ahorros haciendo uso de seis pasos para obtener dicho objetivo.

1. Asignar los riesgos y responsabilidades del proyecto.
2. Desarrollar un plan de M&V del proyecto.
3. Definición de la línea base.
4. Instalación de equipos y sistemas.
5. Conducta posterior a la instalación de actividades de verificación.
6. Realizar en un intervalo regular actividades de M&V.

En este caso, para la definición de la línea base son necesarias unas condiciones físicas de las que se parte

como son el inventario de equipos, la ocupación, los horarios de operación de los equipos, datos meteorológicos,... Estas características se obtienen a través de encuestas, mediciones e inspecciones. Es fundamental a la hora de determinar la línea base, documentar todas las hipótesis que se hayan realizado, así como decidir qué necesita ser analizado y durante cuánto tiempo.

Una vez obtenida la línea base se puede ajustar y verificar según la precisión del método de M&V que se haya seleccionado. Con ello, al comparar el consumo obtenido por la línea base con el consumo de la instalación se puede obtener los ahorros. Igualmente, con las condiciones de referencia se puede observar posibles cambios producidos durante la fase de ejecución. Después de implementar la medida de conservación de la energía, se puede volver atrás y reevaluar la línea base.

Según DOE, el cálculo de ahorros se realizaría mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Ahorro} = (\text{Energía de la línea base} - \text{Energía posterior a la instalación}) \pm \text{Ajustes}$$

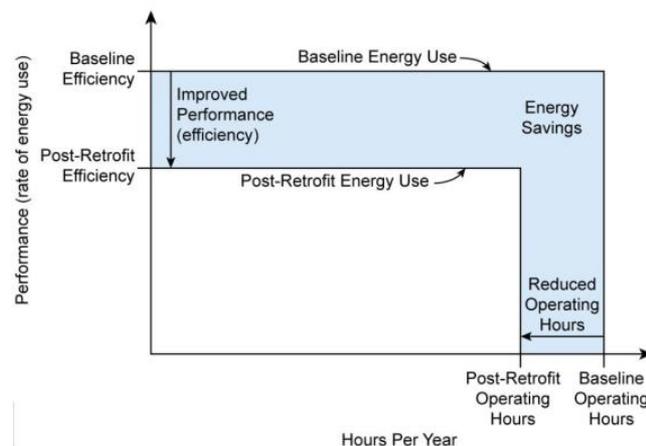


Figura 1. 10. Ahorro en función del uso y desempeño.

Los métodos, al igual que los vistos en EVO, son:

- A: Verificación aislada con medición de parámetros clave. Es una combinación de factores medidos y estimados. Las mediciones se realizan a corto plazo, de forma puntual o continua, y se puede tomar a nivel de componente o de sistema. Los coeficientes estimados se deberán sustentar a partir de datos históricos o de los fabricantes. Los ahorros se calculan a partir de cálculo de línea base y de información del uso de la energía en el periodo de obtención de los valores medidos y estimados.
- B: Verificación aislada con medición de todos los parámetros. Esta opción se basa en mediciones de líneas base y de reacondicionamiento energético. Al igual que en el caso anterior, las mediciones se realizarán a corto plazo de forma continua o puntual, a nivel de componente o sistema. Los ahorros se determinan a partir del análisis de línea base y el consumo de energía en un periodo representativo.
- C: Verificación de toda la instalación. Esta opción se fundamenta en la monitorización continua del consumo energético de toda una instalación. Por ello, el ahorro se obtienen mediante un análisis de la línea base y del consumo en el periodo actual. Así se deben tener en cuenta variables independientes como lo son el clima y la ocupación. Esta opción requiere un inventario detallado de todos los equipos incluidos en las mediciones .
- D: Simulación calibrada. Consiste en el uso de un programa de simulación por ordenador para estimar el consumo energético de una instalación. Los modelos deben ser calibrados con datos reales de la instalación, ya sean horarios o mensuales. Dichas simulaciones deben incluir especificaciones de funcionamiento de los equipos, mediciones de consumo de componentes y los datos del medidor utilizado. Una vez calibrado el modelo, los ahorros se calculan comparando la simulación de línea base con una simulación del período de ejecución o bien con datos reales.

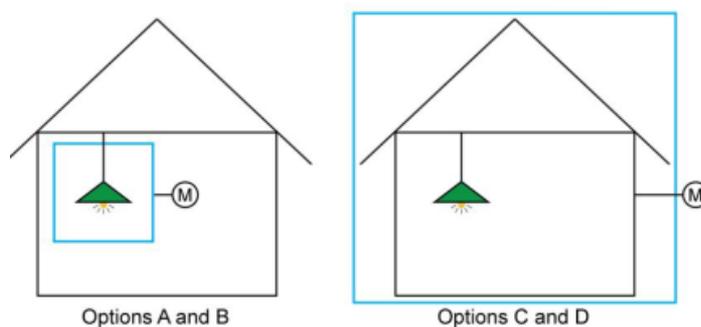


Figura 1. 11. Métodos de M&amp;V.

### 1.1.5. Conclusiones

Como ha podido demostrarse a lo largo de este apartado, en la actualidad las empresas dan solución a edificaciones del sector terciario, en ningún caso al sector doméstico. Aunque partes de estas guías y protocolos podrían ser aplicables a las viviendas, el estudio de éstas debe ser más exhaustivo por las peculiaridades que presenta.

## 1.2. Análisis de la normativa

Con este epígrafe se pretende hacer tanto una revisión de la normativa existente como verificar la inexistencia de una guía que facilite la obtención de la línea base energética aunque la mayor parte de esa reglamentación haga uso de ella.

Además se procura evidenciar la escasez de normativa aplicada al sector doméstico, aunque bien sea cierto que parte de esta normativa pueda ser aplicada a las viviendas para conseguir así un uso más eficiente de las mismas y que este hecho conlleve a un potencial ahorro.

### 1.2.1. UNE 50001-2011

Esta norma<sup>[11]</sup> tiene como objeto proveer los sistemas y procesos necesarios para que las distintas organizaciones mejoren su política energética. Está destinada a cualquier tipo de organismo.

En ella se especifican los requisitos de un sistema de gestión de energía que permite a la organización alcanzar los compromisos derivados de su política energética y establecer objetivos, metas y planes de acción para mejorar su rendimiento energético. Está basado en el ciclo de mejora continua Planificar – Hacer – Verificar – Actuar (PHVA) representado en la Figura 1.13. Con ello se consigue un uso más eficiente de las fuentes de energía así como la reducción del impacto ambiental.

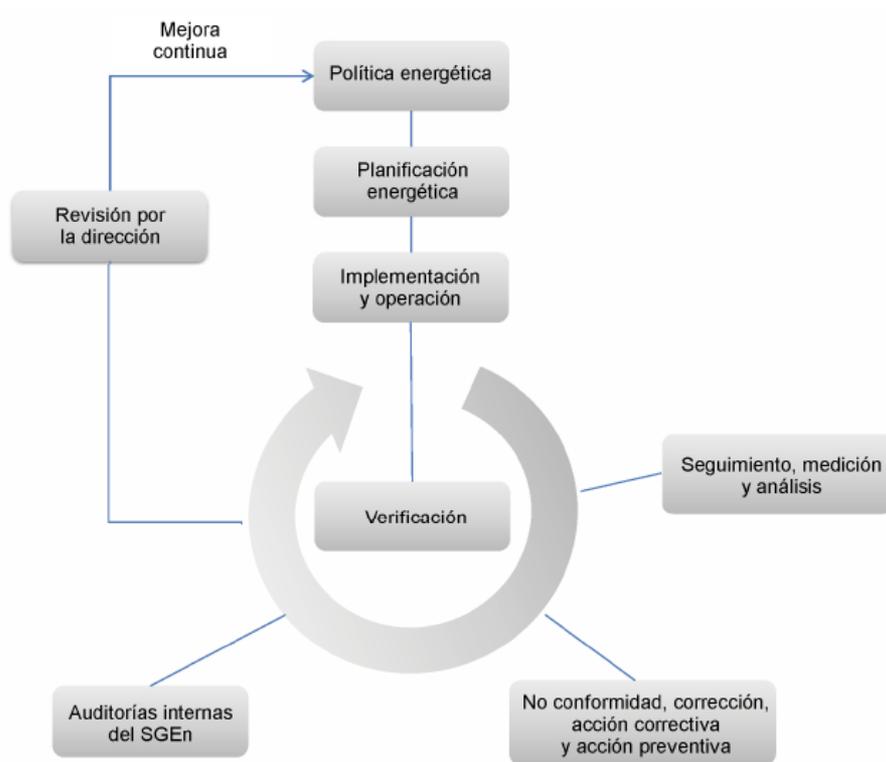


Figura 1. 12. Modelo de sistema de gestión de la energía.

Además, esta norma puede utilizarse para la certificación, el registro y la autodeclaración del sistema de gestión de energía.

En cuanto a las líneas de base energética, están recogidas en el apartado de *Planificación energética* en el diagrama de la Figura 1.13 y son un requisito básico para la certificación de la ISO 50001. Estas deben ser establecidas por la organización a partir de información de revisiones energéticas anteriores y de la recopilación de datos del uso y consumo de la energía. Además, los diferentes cambios (cambios en el proceso, en los patrones de operación,...) que se produzcan en la eficiencia energética deben evaluarse en relación a dicha línea de base energética. También se deben evaluar los cambios cuando un método predeterminado así lo establezca o cuando dicha línea base no refleje el uso y consumo de energía de dicha organización.

### 1.2.2. ISO 50002

La norma ISO 50002<sup>[12]</sup> habla de las auditorías energéticas estableciendo el procedimiento adecuado para realizar una buena auditoría.

Según esta norma, las líneas base se deben utilizar en el análisis de las mejoras del rendimiento energético de la organización. Éstas se emplean en los tres niveles de auditorías que diferencia la propia norma. También se incluyen las líneas base en la evaluación de oportunidades (cálculo de ahorros).

### 1.2.3. ISO 50003:2014

Esta norma<sup>[13]</sup> recoge los requisitos específicos para la competencia, consistencia e imparcialidad en la auditoría y la certificación de sistemas de gestión energéticos. Dichos sistemas de gestión energéticos determinan y ajustan líneas base con las que comparar los resultados para evaluar la eficiencia energética.

### 1.2.4. ISO 50004:2014

La norma ISO 50004<sup>[14]</sup> proporciona una guía para el establecimiento, la implementación, el mantenimiento y

la mejora de los sistemas de gestión energética.

Según esta norma, las revisiones energéticas suministran la información y los datos necesarios para el establecimiento de las líneas base energéticas. Dichas líneas deben expresar mediante una relación matemática: la relación del consumo de energía como función de una serie de variables relevantes. Debe ser un modelo ingenieril, un ratio o un dato de consumo en caso de no existir variables destacadas.

El periodo que se toma para establecer la línea base debe ser representativo en cuanto a las variaciones que se producen (ocupación, producción,...). Este se determina por los datos necesarios para establecer dicha línea.

### 1.2.5. ISO 50006:2014

La norma ISO 50006<sup>[15]</sup> facilita una guía a los organismos del establecimiento, uso y mantenimiento de los indicadores de rendimiento energético (EnPIs) y de las líneas base energéticas (EnBs) como partes del proceso de evaluación de la eficiencia energética.

Esta establece que las líneas base energéticas son referencias que caracterizan y cuantifican el rendimiento energético de una institución durante un determinado periodo de tiempo. Estas líneas también se utilizan para calcular ahorros energéticos a partir de referencias anteriores y posteriores a la mejora implantada. En la Figura 1.14 se observa la relación entre las líneas base de energía y la eficiencia energética.

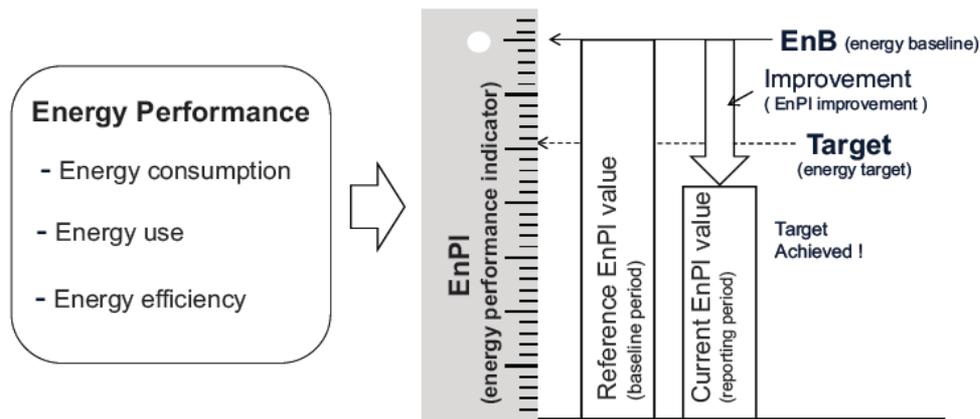


Figura 1. 13. Relación entre rendimiento energético, EnPIs, EnBs y objetivos.

El procedimiento establecido por esta normal para un realizar una buena evaluación de la eficiencia energética se recoge en la Figura 1.15. Este proceso consta de cinco partes fundamentales:

- Obtención de información relevante del rendimiento energético a partir de revisiones anteriores.
- Identificación de los indicadores de la eficiencia energética.
- Establecimiento de líneas de base energéticas.
- Uso de indicadores y líneas base.
- Mantenimiento y ajuste de indicadores y líneas base.

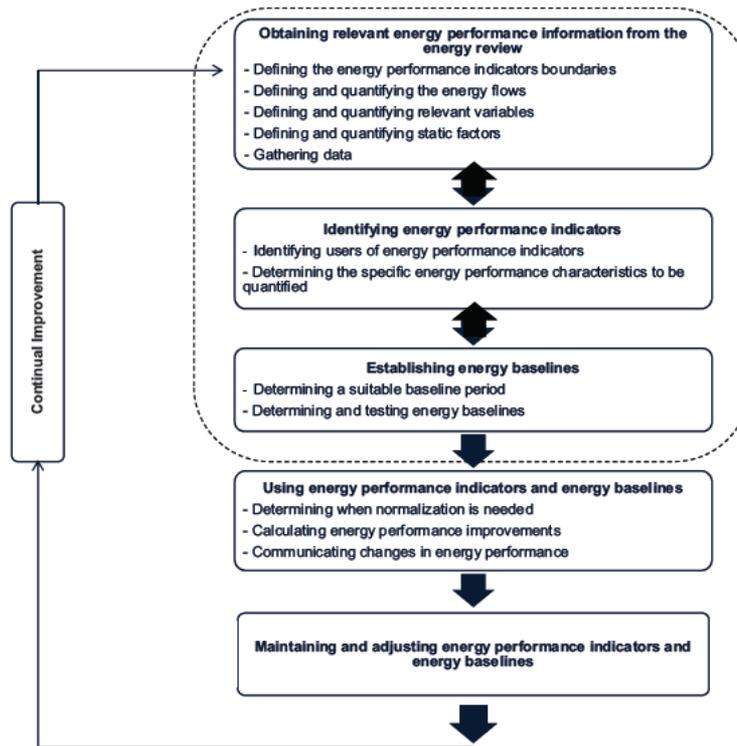


Figura 1. 14. Información general sobre la medición de la eficiencia energética.

### 1.2.5.1. Obtención de información relevante del rendimiento energético a partir de revisiones anteriores

Se comienza definiendo los límites de los indicadores para lo que se debe tener en cuenta:

- Las responsabilidades organizativas en relación con la gestión de la energía,
- La facilidad de aislar el límite de los indicadores mediante mediciones de la energía y de variables relevantes.
- Los límites de los Sistemas de Gestión de Energía (SGEn)
- El uso significativo de la energía o grupo de usos que la organización designa como prioridad para controlar y mejorar.
- Equipos y procesos que la administración quiera aislar y administrar.

Una vez definidos los límites, se deben fijar y cuantificar los flujos de energía que atraviesan dichos límites. Para ello se utilizan diagramas o mapas energéticos donde se muestran los flujos interiores y los que cruzan los límites. Dependiendo de las necesidades de la organización y de sus SGEn se debe definir otras variables que sean relevantes para definir y evaluar los límites de cada indicador. Para determinar qué variables son relevantes se realiza un análisis de los datos.

Otros datos que se deben tener en cuenta son los estáticos ya que pueden modificar el valor de los límites. Es importante documentar el estado de estos factores durante el establecimiento de los indicadores y de las líneas base. Aunque los factores estáticos no varíen sustancialmente en el periodo de referencia, si las condiciones cambian, éstos podrían cambiar por lo que deben ser revisados.

Por último se ha de hacer una recolección de datos. Los datos a reunir han de ser especificados por la entidad para cada EnPI y su correspondiente EnB. La recogida de datos será periódica y el organismo seleccionará la frecuencia con la que se realizará dicha recolección. Las medidas tomadas y calculadas utilizarán datos recogidos en un periodo de tiempo específico. Antes de proceder al cálculo de EnPis y EnB, la organización revisará el sistema de medida así como las variables relevantes para asegurar la calidad de los datos. Además, se debe considerar la calibración de los equipos para reducir el riesgo de obtener datos inexactos.

### 1.2.5.2. Identificación de los indicadores de la eficiencia energética

Para el reconocimiento de los EnPIs, la entidad ha de comprender sus características de consumo tales como la carga base, las cargas variables, la ocupación y el clima entre otros factores. El organismo debe fijar unos objetivos para la planificación del rendimiento energético. Estos objetivos se caracterizarán por los valores de los indicadores. Los principales tipos de EnPIs son:

- Valor de energía medido: consumos.
- Relación de los valores medidos: expresión de la eficiencia energética.
- Modelo estadístico: relación entre el consumo de energía y variables relevantes.
- Modelo basado en la ingeniería: relación entre el consumo de energía y variables relevantes a partir de simulaciones.

Los indicadores deben ser fácilmente comprensibles por los usuarios, adaptándose a la necesidad de los mismos.

### 1.2.5.3. Establecimiento de líneas de base energéticas

Las EnBs se caracterizan por los valores de los EnPIs durante el periodo de línea base. Los pasos a seguir para establecer las líneas base son:

- Determinar el propósito específico que se utilizará en EnBs.
- Determinar un período de datos adecuado: el periodo de referencia y el de presentación de informes debe ser lo suficientemente largo como para asegurar la variabilidad de los patrones. Son de 12 meses para tener en cuenta la relación entre el consumo y las estaciones.
- Recopilación de datos.
- Determinar y comprobar la EnBs: para determinar las líneas base, deben medirse y calcularse los diferentes indicadores haciendo uso del consumo de energía así como de las variables relevantes. Se ha de probar la validez de la EnB para asegurar que es una referencia apropiada.

### 1.2.5.4. Uso de indicadores y líneas base energéticos

Se ha de determinar cuándo es necesaria la normalización. La comparación directa de consumo de energía con los períodos de referencia y de notificación (método no normalizado) sólo es válido si no se producen cambios significativos. La normalización se realiza de la siguiente manera:

- Para el caso de una carga base pequeña y una única variable relevante, una sencilla relación entre la energía consumida dicha variable significativa.
- Para el caso de una carga base grande o varias variables relevantes, se utiliza un modelo que describa dicha relación.

En cuanto al cálculo de las mejoras de eficiencia energética, se evalúan los cambios producidos comparando los valores con las EnBs. Dichos cambios han de ser comunicados.

### 1.2.5.5. Mantenimiento y ajuste de indicadores y líneas base

La entidad debe asegurarse de que los EnPIs, los límites y EnB siguen siendo adecuados ya que cuando se producen cambios en las instalaciones, procesos o sistemas, puede ocurrir que el uso de la energía, el consumo, u otras variables se vean afectados. Para hacer dicha comprobación existen diferentes pruebas:

1. Utilizando modelos estadísticos comparar los valores de referencia con los rangos estadísticos válidos.
2. Identificar cualquier cambio importante en factores estáticos.

Si los valores de la línea base ya no son válidos, se pueden ajustar el período de referencia o ajustarla sin cambiar el período, utilizando varios métodos:

- Backcasting: se utilizan los datos del período para desarrollar un modelo estadístico, y luego se calcula el ejercicio con los datos reales.
- Se toman los datos en condiciones estándar para desarrollar un modelo estadístico y posteriormente se calcula el ejercicio con la energía real y las variables relevantes desde el inicio del estudio y presentación de informes.

También se puede utilizar una combinación de ambos.

### 1.2.6. ISO 50015

El propósito de esta norma<sup>[16]</sup> es establecer un conjunto de principios y directrices que se utilizarán para la medición y verificación (M&V) de la eficiencia energética de una entidad o sus componentes. Los M&V tienen como finalidad proporcionar confianza a las partes interesadas sobre los resultados. Deben dirigirse los siguientes principios:

1. La exactitud y la gestión de la incertidumbre apropiada: la incertidumbre de los resultados, incluida la precisión de la medición, debe ser administrado a un nivel apropiado para el propósito de la M&V.
2. La transparencia y la reproducibilidad del proceso de M&V: un proceso M&V debe ser documentado para garantizar la transparencia y la trazabilidad del proceso, contribuyendo así a la confianza de los resultados.
3. La gestión de datos y la planificación de mediciones: la gestión de datos incluye los medios para almacenar, mantener y asegurar los datos. Debe incluir además, información sobre la planificación acerca de la ubicación, la frecuencia, los sensores,... Todo ello irá incorporado en la documentación.
4. La competencia del practicante de M&V: el organismo debe definir los requisitos de competencia ayudando así a la confianza en los resultados.
5. La imparcialidad: el plan de M&V así como los informes del mismo deben contener una declaración sobre la imparcialidad del practicante de M&V.
6. La confidencialidad: cualquier información confidencial necesaria para llevar a cabo la M&V debe ser accesible al practicante de la misma, debiendo documentar la falta de la misma en el plan de M&V en caso de que pueda afectar al resultado.
7. El uso de métodos apropiados: la selección del método de cálculo y método de M&V estarán establecidos en el plan de M&V.

#### 1.2.6.1. Plan de M&V

Existen seis pasos fundamentales del proceso especificados en el plan de M&V (véase Figura 1.16):

1. Establecer y documentar el plan de M&V, es decir, detallar cada una de las fases que lo forman.
2. Recogida de datos.
3. Verificar la implementación de la acción de mejora de la eficiencia energética (EPIAs)
4. Realizar el análisis de M&V.
5. Informe de resultados y emisión de documentación.
6. Revisar, en caso de que sea necesario, la necesidad de repetir el proceso.

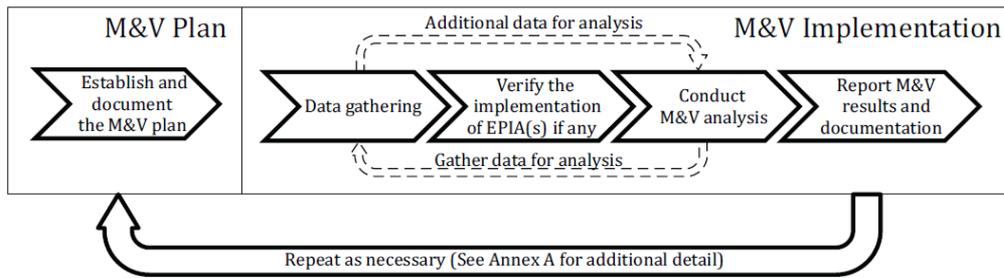


Figura 1. 15. Pasos fundamentales en el proceso de M&V.

Las líneas base energéticas son utilizadas en varias partes del proceso de M&V:

- La acción de mejora de la eficiencia energética que incluye las EnBs como parte de su descripción.
- La elección de los límites de M&V.
- La evaluación preliminar del plan de M&V.
- El análisis de los resultados de M&V.

### 1.2.6.2. Establecimiento y ajuste de líneas base

Esta norma además, establece y ajusta las líneas base energéticas. Las EnBs deben ser establecidas de acuerdo con las directrices y métodos del M&V, así como los datos utilizados, cuando se quiera mejorar el rendimiento energético a partir de éstas.

Las líneas base deben ser establecidas antes de aplicar cualquier EPIA, salvo que estén disponibles los datos para obtener dicha línea base. Se documentará el establecimiento de las EnBs incluyendo la siguiente información:

- Los datos brutos utilizados para obtener la línea base.
- El período de tiempo específico utilizado con las condiciones que implique.
- El proceso seguido.
- Los datos procesados.

En el ajuste de EnB, se proporcionarán las condiciones y razones por las que dicho ajuste es necesario y el método empleado para realizarlos. Se incluyen también ajustes no rutinarios donde se incorporan los medios para supervisar que exista la necesidad de dichos ajustes, el procedimiento a seguir en los mismos, así como el método específico a utilizar.



# 2 PROTOCOLO

---

## 2.1. Descripción

En este apartado, y en el proyecto en general, se pretende obtener un modelo de temperatura interior que permita conocer la temperatura interior que tendrán las estancias en “free floating”, es decir, siempre y cuando no estén en funcionamiento los sistemas de HVAC. Una vez conocida esta temperatura, se puede medir la calidad del ambiente, las condiciones de confort, los efectos de una rehabilitación,...

Para poder realizarlo, es necesario contar con una serie de datos como son:

- La temperatura interior de la vivienda.
- Las condiciones climáticas (temperatura exterior y radiación)
- Datos de consumo.
- Modelo de la vivienda compatible con la Herramienta Unificada Lider-Calener.

Se debe tener al menos dos años de dichos datos. Además, los datos serán diarios ya que el modelo que se va a realizar va a ser en base diaria.

Antes de nada, se van a exponer el modelo de caracterización que permitirá conseguir el objetivo deseado.

Una vez comprendido el modelo, se va a explicar detalladamente cada uno de los pasos que se han de seguir para la obtención de la línea base de temperatura interior. Además se mostrará un algoritmo de dicho procedimiento para su mejor comprensión.

Para finalizar el presente capítulo, se expondrá un ejemplo claro de la explotación de la línea base que consistirá en un estudio de confort en las viviendas.

## 2.2. Modelo de caracterización

El modelo que en este epígrafe se describe tiene su antecedente en la aplicación de las funciones de transferencia en la edificación.

Una función de transferencia no es más que la relación existente entre las respuestas en un instante determinado y los valores de la excitación en ese mismo instante y en los que le preceden. Para su resolución únicamente se ha de evaluar la respuesta del sistema así como los de la excitación, a lo largo del tiempo.

En los modelos de función de transferencia, lo que se pretende es relacionar dos o más series temporales realizando modelos causales de predicción. Se observa que hay una serie temporal a la que se le denomina respuesta, que será la variable objetivo, vinculable como función de una o varias series temporales denominadas variables independientes, que serán las excitaciones.

La conexión entre respuesta y excitación es tal que podrían intercambiarse según el caso. Por ejemplo, existen funciones de transferencia en las que los flujos de calor se expresan en función de temperaturas, las cuales podrían expresarse a la inversa, es decir, expresar las temperaturas en función de los flujos.

Se debe tener en cuenta que en la edificación, el efecto de la inercia térmica se traduce en un desfase de tiempo entre la excitación y la respuesta, y un amortiguamiento entre las ganancias instantáneas y las cargas reales sobre el equipo de climatización. O sea, que los efectos dinámicos no solo suponen un retraso si no también un amortiguamiento. En los sistemas térmicos, dichos retardos están unidos a la inercia del sistema. Es por ello que los modelos de caracterización que se pretenden obtener han de ser dinámicos.

La construcción de los modelos de función de transferencia sigue estas etapas: Identificación, Estimación, Verificación y Predicción. Una vez asimiladas las funciones de transferencia y aplicando su fundamento,

resulta un modelo de caracterización inversa de la forma:

$$f(t) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=0}^n a_{ij} Y_i(t-j) - \sum_{k=1}^d d_k f(t-j)$$

Ecuación 2. 1. Definición del modelo de caracterización simplificado.

Siendo:

$f(t)$  la variable objetivo

$Y_i$  las variables independientes o excitaciones ( $i=1, \dots, m$ )

$a_{ij}$  los coeficientes de ajuste de cada variable  $Y_i$

$d_k$  los denominadores o dependencias con el pasado de la variable objetivo

Las excitaciones o variables independientes deben tomarse de acuerdo al sistema a caracterizar así como a la influencia de éstas sobre él. Por ejemplo, las cargas térmicas en las zonas de un edificio suelen relacionarse con las siguientes variables:

- Temperatura del aire exterior
- Radiación (también puede aparecer combinada con la temperatura del aire exterior en forma de temperatura sol-aire)
- Fuentes internas: ocupación, iluminación, equipos,...
- Temperatura del aire interior

### 2.2.1. Modelo Q-T

El modelo Q-T está compuesto por dos funciones de transferencia, una para caracterizar el flujo de energía y otra para la evolución de la temperatura interior.

En un espacio, la energía sustraída o añadida por un sistema de climatización al aire interior para conseguir mantener unas condiciones, depende de las condiciones interiores además de las excitaciones climáticas. El modelo de caracterización de dicha energía, en primera aproximación, puede ser función de la temperatura interior, la temperatura del aire exterior y la radiación incidente. Ésta es la más utilizada puesto que representa el mínimo número de variables que se deben medir de un edificio para realizar un control del mismo.

Los sistemas de climatización trabajan comandados, en la mayoría de los casos, por señales de control ligadas a la diferencia entre las consignas establecidas y la temperatura interior medida. Igualmente, la temperatura del aire interior varía en función de las condiciones climáticas, de las fuentes internas y de la energía intercambiada con el equipo de climatización. Esta relación entre las respuestas es el fundamento del "Modelo Q-T".

Pero este modelo presenta una dificultad, y es que las funciones de transferencia que lo componen dependen entre sí. Es decir, para obtener el flujo de calor, es necesario conocer la temperatura y cómo evoluciona ésta, depende del flujo intercambiado de calor. A esto hay que añadir la influencia de la respuesta del sistema de climatización con el arranque de éste por ejemplo en el período de parada nocturno.

Además, este modelo está hecho sobre la hipótesis de invarianza del mismo, existiendo multitud de excitaciones que no son fáciles de medir. Estos efectos se ven reflejados en la evolución de la temperatura interior, incluida la inercia térmica. Esto es que si el edificio es reformado, se comporta como si fuese un edificio diferente.

Para poner solución a este inconveniente, la evolución de la temperatura se caracteriza cuando no opera el sistema de climatización en el edificio sin reformar, siendo ésta la situación energética de partida del edificio.

Con este modelo de temperatura interior se puede conocer la evolución de ésta en los periodos en los que no opera el sistema de climatización, conociendo así la respuesta del edificio frente a las excitaciones climáticas y a las fuentes externas.

El modelo genérico para la predicción de la temperatura interior de un edificio sin sistema de climatización queda definida de la siguiente forma:

$$T_{INT}(d) = a_0 * T_{EXT}(d) + a_1 * T_{EXT}(d - 1) + b_0 * RAD(d) + b_1 * RAD(d - 1) + d_1 * T_{INT}(d - 1) + CTE$$

Ecuación 2. 2. Línea base de temperatura interior.

Donde:

$T_{INT}(d)$  [°C] es la temperatura promedio interior en evolución libre

$T_{EXT}(d)$  [°C] es la temperatura promedio exterior

$RAD(d)$  [kWh] integral de la radiación global horizontal incidente durante el periodo d

$CTE$  [°C] es, principalmente, el efecto de las ganancias internas

## 2.2.2. Modelo integrado de consumo

Este modelo tiene como objetivo obtener una línea base de la situación de referencia que sea capaz de predecir consumos o de verificar ahorros.

La filosofía deducida acepta que en estos consumos puede existir una parte debida a excitaciones medibles (componente determinista) y otra no medible (componente estocástica). (Ref.: J. McLellan-Fall 2005)

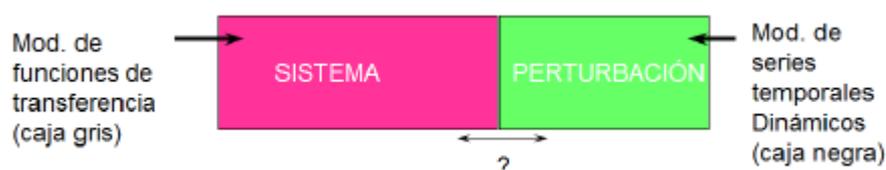


Figura 2. 1. Visión general de los componentes del consumo.

En la Figura 2.1 se describen las implicaciones que tiene en la caracterización del consumo energético de un sistema lo antes mencionado. Se quiere que la componente determinista sea la componente que domine del modelo. Esta componente ha de ser la principal en la variable objetivo, debido a que comprende toda la esencia física y cierta del sistema objeto de caracterización. Es por ello que la parte debida a la perturbación, la estocástica, se debe limitar. Lo que es lo mismo, se ha de caracterizar el control y autoaprendizaje del modelo en el tiempo. Aun así, las dos partes son claves para acotar la aplicabilidad y validez del modelo.

No obstante, los consumos no responden en su totalidad a una realidad física que se pueda caracterizar, si no que en muchos casos se deben al comportamiento humano. Este hecho no sucede en los edificios terciarios con climatización que son controlados por sistemas centralizados ya que dependen principalmente de las fuentes internas y de las condiciones climáticas. Lo que es lo mismo, el consumo de climatización está ligado a las cargas térmicas del edificio.

Por todo ello, este modelo tiene como objetivo la caracterización de la parte física mediante la determinista del consumo de climatización, y a partir de la componente estocástica el resto del consumo que no se puede explicar por la componente física caracterizada.

Sin embargo, en el sector doméstico, el consumo debido al acondicionamiento de la vivienda sí depende del usuario. Es por ello que tomar este método para el cálculo de las líneas base complicará su resolución. Eso lleva a que en el presente proyecto, se utilice la diferencia de temperaturas entre el modelo y las mediciones reales para calcular los consumos.

## 2.3. Protocolo

### 2.3.1. Etapa 1: Recopilación y verificación de datos

Para realizar la línea base de una vivienda, es necesario tomar datos de temperatura de la misma además de su consumo, así como recopilar datos de la temperatura exterior y la radiación. Para ello es necesario tener medidores que tomen estos valores y los almacene para posteriormente extraerlos o que los envíe directamente a una base de datos.

En caso de no ser posible tomar los valores de las condiciones exteriores con medidores, se analizarán las estaciones meteorológicas que estén situadas lo más cerca posible de la vivienda que se esté investigando, y se hace un estudio acerca de la influencia de las condiciones que rodeen a la propia estación consiguiendo así optar por la mejor opción.

Para los datos de temperatura interior de la vivienda, se toman los valores de las diferentes habitaciones que la componen y se calcula la temperatura promedio de toda la vivienda. Cabe destacar que al ser un modelo basado en la época de no climatización, la zona más representativa es el salón, es por ello que únicamente sería necesario colocar un medidor de temperatura en dicha estancia. Este hecho se va a corroborar en el apartado 3.4.

### 2.3.2. Etapa 2: Determinación de la estación intermedia

Una vez recopilados los datos se pasa a reconocer la estación intermedia, es decir, aquella época en la que por la ubicación del edificio éste no necesita acondicionamiento. Pero, ¿cómo poder identificarla? Para ello se hace uso de dos métodos: la simulación y los consumos.

Para el primero de ellos, el modelo de la vivienda que se tiene, se ejecuta en la Herramienta Unificada Lider-Calener. El modelo que se introduce en dicha aplicación contiene datos del edificio referentes a las características constructivas, ubicación, orientación,.... Esta herramienta hace una serie de pasadas en las que analiza cómo evolucionarían las diferentes zonas en las que se divide la vivienda bajo ciertas condiciones. Concretamente Lider-Calener produce los siguientes casos:

- Caso 1: Evolución libre del edificio con operación normal pero sin funcionamiento del equipo de acondicionamiento.
- Caso 2: Evolución libre del edificio con una única excitación en temperatura exterior constante e igual a 0 °C y con una consigna interior de 1 °C.
- Caso 3: Al caso anterior, se le suma el efecto de puentes térmicos e infiltraciones.
- Caso 4: Evolución libre del edificio sin efecto de la radiación solar ni de las fuentes internas.
- Caso 5: A la pasada anterior se le añade el efecto de las fuentes internas.
- Caso 6: Se realiza una simulación sin fuentes internas y con una radiación solar constante e igual a 100 w/m<sup>2</sup> durante las 8760 horas que componen el año.

A partir de estas simulaciones se obtiene el porcentaje de cada mes que los valores de temperatura están en el rango de confort, es decir, entre 20 °C y 25 °C. Dichos meses serán los candidatos a ser la denominada estación intermedia.

Por otra parte, se analiza el consumo que se produce en la vivienda. Los consumos eléctricos en las épocas intermedias son menores. Esto es debido al desuso de aparatos tales como radiadores, estufas, ventiladores, etc. que en otras épocas del año sí son utilizados.

Una vez comparados estos dos aspectos se decide qué meses de los que facilitó la simulación son realmente de estación intermedia.

### 2.3.3. Determinación de la línea base

Recopilada toda esta información, se comienza a obtener el modelo de temperatura interior. Para ello, se toman los datos reales medidos de temperatura interior, temperatura exterior y radiación de los meses de la

época intermedia. Sin embargo existe un problema con la radiación. La radiación varía de forma acusada a lo largo del año, es por ello que para realizar un modelo más fiable se busca hacer una ley del área solar. Esto es debido a que a lo largo del año el sol no incide de la misma forma sobre las distintas superficies.

La ley de área solar se obtiene para cada día del año. A partir de las simulaciones antes mencionadas, se obtienen las áreas de captación solar del edificio para cada mes. Con esos valores, se hace una recta de regresión que, tomando el valor del día del año que se quiera obtener y dividiendo por el área solar (AS) del mes tomado como estación intermedia, calcule un coeficiente corrector. Este factor multiplicará a la radiación y será el resultado de dicha multiplicación el que se utilice para la obtención de la línea base. Esta ley tendrá la siguiente forma:

$$L_{AS} = \frac{a_0 + a_1d + a_2d^2 + \dots + a_id^i}{AS}$$

Ecuación 2. 3. Ley solar.

Donde

$a_i$  son coeficientes distintos según el área de captación solar.

$d$  es el día en el que se está calculando la ley.

AS es la relación entre la ganancia que la radiación solar le provoca a la vivienda y la radiación global. Ésta se obtendrá a partir de la siguiente fórmula:

$$AS = \frac{\Delta T_{GS} * UA * N_{horas}}{RD_{global}}$$

Siendo

$\Delta T_{GS}$  el incremento de temperatura debido a la ganancia solar.

UA el coeficiente de transferencia de calor por el área.

$N_{horas}$  el número de horas de radiación.

$RD_{global}$  la radiación global incidente.

Una vez resueltos estos inconvenientes, se pasa a generar el modelo a través de una estimación lineal por el método de mínimos cuadrados. En ella se toman como valores dependientes las medidas de temperatura interior y como valores dependientes la temperatura exterior, la radiación y, en caso de ser necesario, los valores de éstos, incluyendo también la temperatura interior, en días anteriores. Los coeficientes necesarios de temperatura exterior y radiación serán los numeradores, y los de la temperatura interior los denominadores.

En este momento surge una nueva cuestión, ¿cuántos numeradores y denominadores se utilizan para el modelo? En primera instancia, a mayor número de ambos mayor precisión de se tendrá en la línea base. Sin embargo esto no es siempre así. Cuando los datos que se toman para hacer el modelo son datos reales, debido al ruido que éstos llevan implícitos no siempre aumentar el número de coeficientes ayuda a mejorar el resultado. Es por este motivo que se debe buscar en cada caso el número óptimo de ellos. Cabe destacar que el número de denominadores debe ser el menor posible.

El número de coeficientes no es más que la dependencia con la inercia térmica. Por ejemplo, si el número de coeficientes es 4, esto significará que la temperatura interior de la vivienda dependerá de lo que suceda en el día en el que se esté calculando y 3 días anteriores a ese.

Conseguido el número óptimo de coeficientes, se tiene el modelo de temperatura interior en la época intermedia, y una vez conseguido éste, se aplica al resto de días de los que se tengan datos. El requisito de tener dos años de datos nace de la necesidad de verificar el modelo obtenido, ya que con los valores de un año se realiza el modelo y con los del siguiente se verifica.

En caso de que no se consiguiese verificar el modelo, se ha de revisar la estación intermedia elegida.

Una vez verificado, se puede proceder a la explotación de la línea base. Ésta comprendería la cuarta y última etapa del protocolo, pero por su extensión se traslada a un nuevo apartado (Apartado 2.4).

Todo este protocolo se refleja en la Figura 2.2 en la que se representa el algoritmo para la obtención del

modelo.

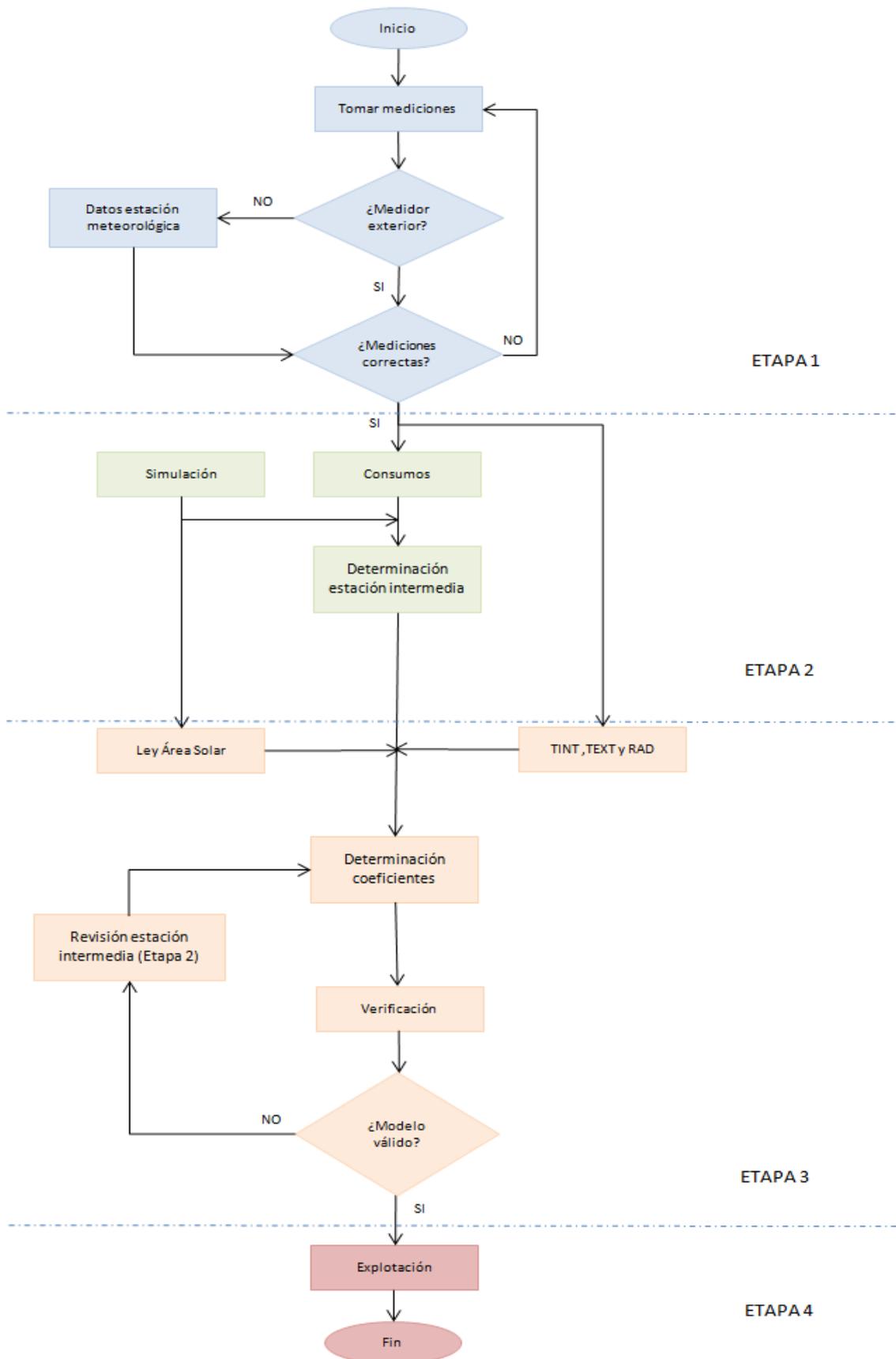


Figura 2. 2. Algoritmo para la obtención del modelo.

## 2.4. Explotación de la línea base

### 2.4.1. Origen de los modelos de confort térmico

El interés por la valoración del nivel de confort térmico nació como una consecuencia de la aparición de las técnicas de acondicionamiento de aire, cuyo fin era justamente lograr que las personas se sintieran confortables y precisaban por tanto de métodos que permitieran evaluar en qué medida se alcanzaban sus objetivos; el más conocido de los índices de evaluación del confort fue la "temperatura efectiva", desarrollado por Yaglou y colaboradores en 1923<sup>[24]</sup>. Desde entonces han aparecido muchos otros índices, pero la mayoría de ellos no engloban variables que en un ambiente industrial son de gran importancia, como la presencia de calor radiante, la intensidad de trabajo, etc., por lo que su utilidad en el campo laboral es muy limitada.

Existen dos modelos de confort aceptados internacionalmente, el modelo propuesto por Fanger en el año 1970 y el modelo de confort adaptativo propuesto por varios autores pero atribuido a Nicols a partir de un conjunto de publicaciones que tienen su origen en el 2002. A continuación se describirán los fundamentos de ambas aproximaciones.

### 2.4.2. Método de Fanger

La aparición en 1970 de la obra "Thermal Comfort" de P.O. Fanger representó un avance sustancial, al incluir en el método de valoración propuesto la práctica totalidad de las variables que influyen en los intercambios térmicos hombre-medio ambiente y que, por tanto, contribuyen a la sensación de confort; estas variables son: nivel de actividad, características del vestido, temperatura seca, humedad relativa, temperatura radiante media y velocidad del aire.

Por otra parte la presentación del resultado expresándolo como porcentaje de personas que se sentirán inconfortables en un ambiente determinado resulta de gran interés no sólo cuando se trata de evaluar una situación sino cuando se pretende proyectar o modificar un ambiente térmico.

#### 2.4.2.1. Requerimientos para el confort térmico

La primera condición que debe cumplirse para que una situación pueda ser confortable es que se satisfaga la ecuación del balance térmico; en otras palabras, es necesario que los mecanismos fisiológicos de la termorregulación sean capaces de llevar al organismo a un estado de equilibrio térmico entre la ganancia de calor (de origen ambiental y metabólico) y la eliminación del mismo.

El equilibrio térmico en sí mismo está sin embargo lejos de proporcionar sensación de confort; en efecto, el organismo es capaz de conseguir satisfacer el balance térmico en una amplísima gama de combinaciones de situaciones ambientales y tasas de actividad pero sólo una estrecha franja de las mismas conducen a situaciones que el propio sujeto califique de confortables; la experiencia ha demostrado que para que se dé la sensación de confort debe cumplirse, además del equilibrio térmico, que tanto la temperatura de la piel como la cantidad de sudor secretado (y evaporado) deben estar comprendidos dentro de ciertos límites.

Los estudios de Fanger demostraron que los valores de la temperatura de la piel y de la cantidad de sudor secretado en las situaciones confortables dependen del nivel de actividad a través de relaciones lineales; la temperatura de la piel es linealmente decreciente con el consumo metabólico mientras la cantidad de sudor evaporado crece linealmente con la actividad, siempre en el supuesto de hallarse en situaciones confortables.

La introducción de las relaciones anteriores en la ecuación del balance térmico conduce a una expresión que Fanger llama la "ecuación del confort" que establece la relación que, en situaciones de confort, debe cumplirse entre tres tipos de variables:

- a) Características del vestido: aislamiento y área total del mismo.
- b) Características del tipo de trabajo: carga térmica metabólica y velocidad del aire.
- c) Características del ambiente: temperatura seca, temperatura radiante media, presión parcial del vapor de agua en el aire y velocidad del aire.

La inclusión de la velocidad del aire en los apartados B) y C) se debe a que considerar la velocidad efectiva del aire respecto al cuerpo tiene dos componentes: una, la velocidad que tendría el aire respecto al cuerpo y si éste estuviera quieto y otra, la velocidad debida al movimiento del cuerpo respecto al aire tranquilo; la suma de

ambos valores es lo que se llamará velocidad relativa del aire respecto al cuerpo.

#### 2.4.2.2. Índice de valoración medio

Para estudiar la calificación que grupos de personas expuestas a una determinada situación atribuyen a su grado de confort, Fanger emplea la siguiente escala numérica de sensaciones:

- 3 muy frío
- 2 frío
- 1 ligeramente frío
- 0 neutro (confortable)
- + 1 ligeramente caluroso
- +2 caluroso
- +3 muy caluroso

Cuando un conjunto de individuos es expuesto a una determinada situación se denominará "Índice de valoración medio" (IMV) al promedio de las respectivas calificaciones atribuidas a dicha situación de acuerdo con la escala anterior.

Existen valores tabulados que proporcionan el IMV en función del nivel de actividad medido como la carga térmica metabólica total, la temperatura seca, la velocidad relativa del aire respecto al cuerpo y el tipo de vestido.

#### 2.4.2.3. Influencia del vestido

Las características térmicas del vestido se miden en la unidad denominada "clo" (del inglés clothing, vestido), equivalente a una resistencia térmica de  $0,18 \text{ m}^2 \text{ hr } ^\circ\text{C}/\text{Kcal}$ ; a continuación se indica, para los tipos más usuales de vestido los correspondientes valores de la resistencia en "clo":

Desnudo: 0 clo.

Ligero: 0,5 clo (similar a un atuendo típico de verano comprendiendo ropa interior de algodón, pantalón y camisa abierta).

Medio: 1,0 clo (traje completo).

Pesado: 1,5 clo (uniforme militar de invierno).

#### 2.4.2.4. Proporción de insatisfechos

Aunque el índice IMV resuelve el problema de cuantificar el grado de confort de una situación dada, su utilidad práctica sería reducida si no fuera posible correlacionar sus valores con el porcentaje de personas que para cada valor del índice expresan su conformidad o disconformidad con el ambiente en cuestión. Tal correlación ha sido establecida por Fanger a partir del estudio estadístico de los resultados obtenidos con 1 296 personas expuestas durante tres horas a un ambiente determinado.

En la siguiente figura (Figura 2.3) se indican los resultados de Fanger, que se expresan como el porcentaje de personas que se sienten insatisfechas para cada valor del índice IMV; se observa cómo en ambientes neutros, donde el IMV es cero, existe aún un 5% de insatisfechos lo que confirma el hecho bien conocido de que en cualquier situación, por sofisticado que sea el sistema de acondicionamiento térmico del local, existe cierta proporción de insatisfechos.

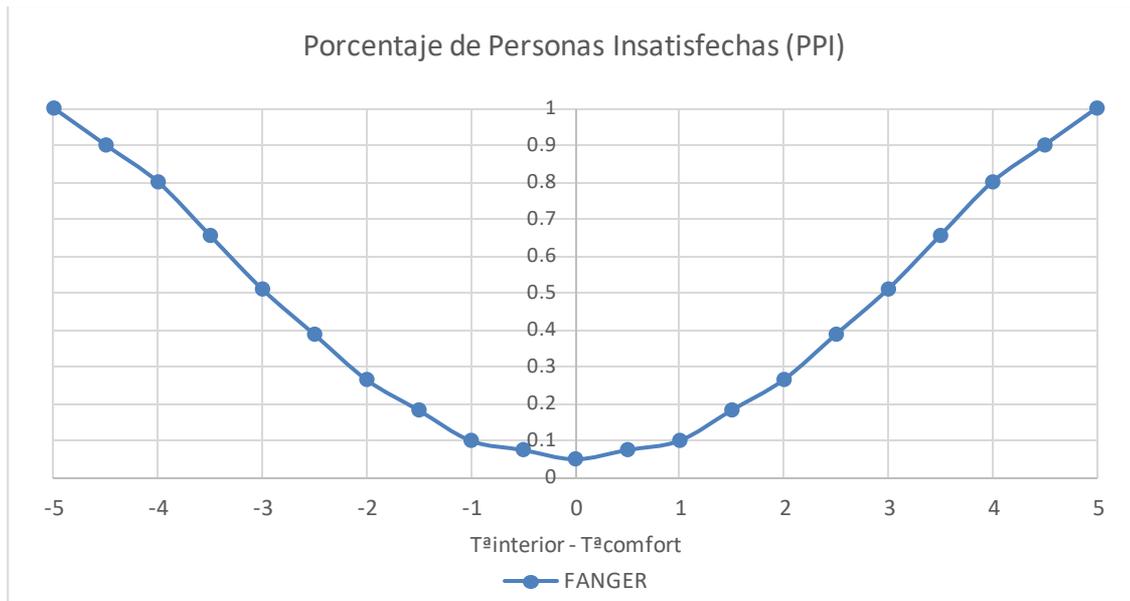


Figura 2. 3. Proporción prevista de personas insatisfechas en función del valor de la diferencia de temperatura.

Como puede verse, los límites de confort se establecen en este método usando los estudios de PMV pero para su aplicación práctica se presentan frecuentemente como límites de temperaturas ya que la mayoría de sistemas mecánicos se controlan por temperatura. Los límites para edificios con sistemas de climatización mecánica (categoría II) se establecen a partir de un límite para el PMV de 0.5, el paso a temperatura de dicho límite requiere conocer la actividad metabólica de los ocupantes (met) del edificio y su nivel de vestimenta (clo). A continuación se incluye una tabla que determina las temperaturas de diseño para diferentes tipos de espacios, asumiendo un clo de 0.1 en invierno y de 0.5 en verano, obtenidas de una norma que se basa en el método de Fanger.

Tabla A.5 – Ejemplos de criterios de diseño para espacios en varios tipos de edificios

Tipo de edificio/espacio	Actividad W/m <sup>2</sup>	Categoría	Temperatura operativa °C		Máxima velocidad media del aire <sup>a</sup> m/s	
			Verano (época de refrigeración)	Invierno (época de calefacción)	Verano (época de refrigeración)	Invierno (época de calefacción)
Despacho individual Oficina diáfana Sala de conferencias Auditorium Cafetería / restaurante Aula	70	A	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,12	0,10
		B	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,19	0,16
		C	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,24	0,21 <sup>b</sup>
Aula de preescolar	81	A	23,5 ± 1,0	20,0 ± 1,0	0,11	0,10 <sup>b</sup>
		B	23,5 ± 2,0	22,0 ± 2,5	0,18	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,5 ± 2,5	22,0 ± 3,5	0,23	0,19 <sup>b</sup>
Gran almacén	93	A	23,0 ± 1,0	19,0 ± 1,5	0,16	0,13 <sup>b</sup>
		B	23,0 ± 2,0	19,0 ± 3,0	0,20	0,15 <sup>b</sup>
		C	23,0 ± 3,0	19,0 ± 4,0	0,23	0,18 <sup>b</sup>

<sup>a</sup> La máxima velocidad media del aire está basada en una intensidad de turbulencia del 40% y la temperatura del aire es igual a la temperatura operativa, de acuerdo con 6.2 y con la figura A.2. La humedad relativa considerada es del 60% en verano y del 40% en invierno. Para determinar la máxima velocidad media del aire, en ambas estaciones se toma la temperatura más baja del rango.

<sup>b</sup> Por debajo del límite de 20 °C (véase la figura A.2).

Tabla 2. 1. Temperaturas de diseño en diferentes tipos de espacios<sup>[25]</sup>.

### 2.4.3. Métodos de confort adaptativo

Los modelos de confort adaptativo son modelos estadísticos que parten, al igual que el método de Fanger, de encuestas de los ocupantes que permiten conocer en primer lugar la dependencia del PMV con la temperatura operativa interior (o de globo), y en segundo lugar la dependencia de la temperatura de confort con la temperatura exterior ( $T_{rm}$ ).

Frente al modelo estático de confort térmico, en el modelo adaptativo las personas juegan un papel instrumental creando sus propias preferencias térmicas a través del modo en el que ellos interactúan con el ambiente, modifican su propio comportamiento o gradualmente adaptan sus expectativas en función del ambiente térmico en el que se encuentren<sup>[26]</sup>. Una definición genérica del término adaptación podría ser una disminución gradual de la respuesta del organismo a una estimulación repetida del ambiente.

A partir de esta definición general es posible distinguir claramente tres categorías de adaptación térmica<sup>[27]</sup>:

- Ajuste de comportamiento:** Se trata de ajustes de actividad, poner y quitar ropa, regular aire acondicionado, dormir una siesta en día de calor, etc.
- Fisiológicos:** Una definición podría ser los cambios en la respuesta psicológica como resultado de la exposición a factores térmicos del medioambiente. Esto puede conducir a una disminución gradual de la tensión producida por esta exposición. Sin embargo estos procesos se dan con exposiciones prolongadas a condiciones extremas. Por lo tanto su influencia en la edificación no es muy significativa.
- Psicológicos:** Se refiere a la percepción alterada y la posterior reacción a la información sensorial debido a experiencias pasadas y a las expectativas. Las consignas de confort personal están muy lejos de ser un termostato.

Probablemente una de las investigaciones más importantes realizadas respecto a la respuesta adaptativa de las personas en ambientes interiores fue la iniciada por De Dear y Brager en 1997. Este proyecto, bajo el nombre de ASHRAE RP-884 comenzó con la recopilación de una gran cantidad de datos sin tratar que habían sido originados en cientos de investigaciones de campo alrededor del mundo siguiendo el protocolo de investigación que la propia ASHRAE había publicado años antes. Posteriormente estándares de procesamiento de datos fueron aplicados a esta información, tales como métodos para calcular el clo y varios índices de confort. Finalmente, la base de datos creada recogía, amplios y de alta calidad, datos internacionales sobre experiencias en confort térmico de aproximadamente 21.000 muestras de 160 diferentes edificios de oficinas de cuatro continentes, cubriendo por tanto una amplia gama de clima.

El estudio consistió en el tratamiento por separado de edificios ventilados naturalmente y edificios con sistema de clima, tomando como unidad inicial de análisis cada edificio, en la realización de meta-análisis de los cálculos estadísticos realizados separadamente de cada edificio. Se realizaron estudios estadísticos que relacionaban diferentes factores como temperatura media operativa interior con nivel de vestimenta, temperatura operativa media interior con velocidad media del aire interior, temperatura media exterior con nivel de vestimenta, etc. Pero sin embargo el cruce de datos más significativo es el que se realizó entre la temperatura media efectiva exterior y la temperatura de neutralidad térmica interior.

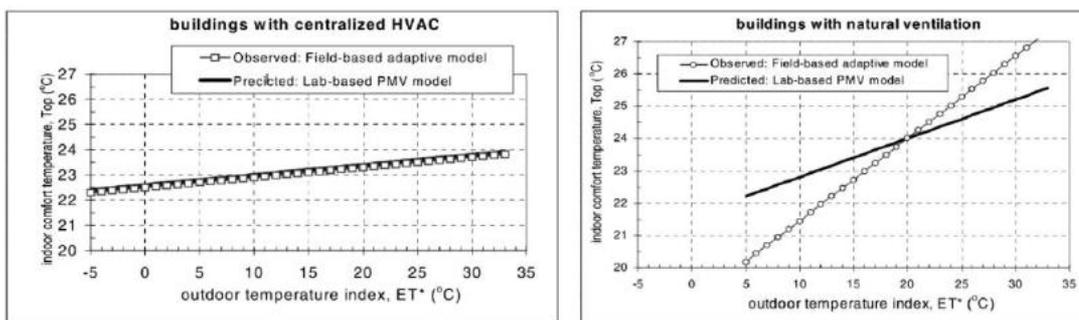


Figura 2. 4. Regresión lineal que relaciona la temperatura de confort y la temperatura media exterior según método PMV y adaptativo. Izqda: edificios con climatización centralizada. Dcha: edificios con ventilación

natural.

Los gráficos anteriores representan una regresión lineal de la temperatura de confort interior para cada edificio frente a la temperatura efectiva media exterior (ET\*) como índice de temperatura exterior. Cada uno de los gráficos muestra la regresión basada en las respuestas observadas en el estudio RP-884 y las predicciones usando el modelo de PMV de Fanger. Los estudios reflejan el diferente papel de la adaptación en estos dos tipos de edificios.

En los edificios climatizados el modelo PMV fue realmente exitoso prediciendo las temperatura de confort, demostrando que los ajustes de comportamiento de vestimenta y velocidad del aire, los cuales ya están incluidos como inputs en el modelo de Fanger, explican completamente la relación entre la temperatura interior de confort y los cambios de temperatura externos. Sin embargo, la diferencia entre las dos líneas en los edificios ventilados naturalmente muestra que tales ajustes de comportamiento solo cubren aproximadamente la mitad de la variación de la temperatura de confort. Es aquí donde se ha comentado que la adaptación psicológica juega un papel importante. Los autores afirman que estas temperaturas de confort están estrechamente relacionadas por los cambios en las expectativas térmicas debidos a una combinación de altos niveles de control percibido y a una gran diversidad de experiencias térmicas en el edificio. La expresión lineal adoptada fue la siguiente:

$$T_{conf} = 0.31 * T_{a,out} + 17.8$$

Ecuación 2. 4. Expresión lineal temperatura de confort.

La contribución de Nicol y Humphreys fue modificar la variable independiente, dicha variable se sustituyó pasando a ser la Trm en lugar de la temperatura exterior. La Trm es una suma ponderada de la temperatura media diaria exterior de varios días. La ecuación para obtenerla es la siguiente:

$$T_{rm} = (1 - \alpha)T_{od-1} + \alpha T_{rm-1}$$

Ecuación 2. 5. Temperatura de confort con la temperatura exterior.

Donde

$\alpha$  es una constante menor de 1 que se suele hacer igual a 0.8.  $T_{od-1}$  es la temperatura media diaria del día anterior al cálculo.

En el proyecto europeo SCAT<sup>[28]</sup> se desarrolló una correlación que determina la temperatura de confort a partir de la Trm para diversos países a partir de una base de datos de medidas. La expresión adoptada fue la siguiente:

$$T_{conf} = 0.33 \times T_{rm} + 18.8$$

Ecuación 2. 6. Confort a partir de Trm.

Estos estudios sirvieron de base para la implantación del modelo adaptativo en el estándar ASHRAE 55 y en el EN UNE 15251.

Este tipo de modelos también sirve para evaluar el PMV y el PPI, la siguiente gráfica (Figura 2.5) muestra la variación del porcentaje de personas insatisfechas en función de la diferencia de temperaturas operativa y de confort. Como puede verse el método de Fanger es más rígido y el PPI decrece rápidamente cuando se modifica dicha diferencia de temperaturas, por el contrario los modelos de confort adaptativo confieren a los ocupantes el poder de modificar su nivel de vestimenta y por tanto son más flexibles lo cual se puede ver en una evolución del PPI mucho más suave que en el caso anterior.

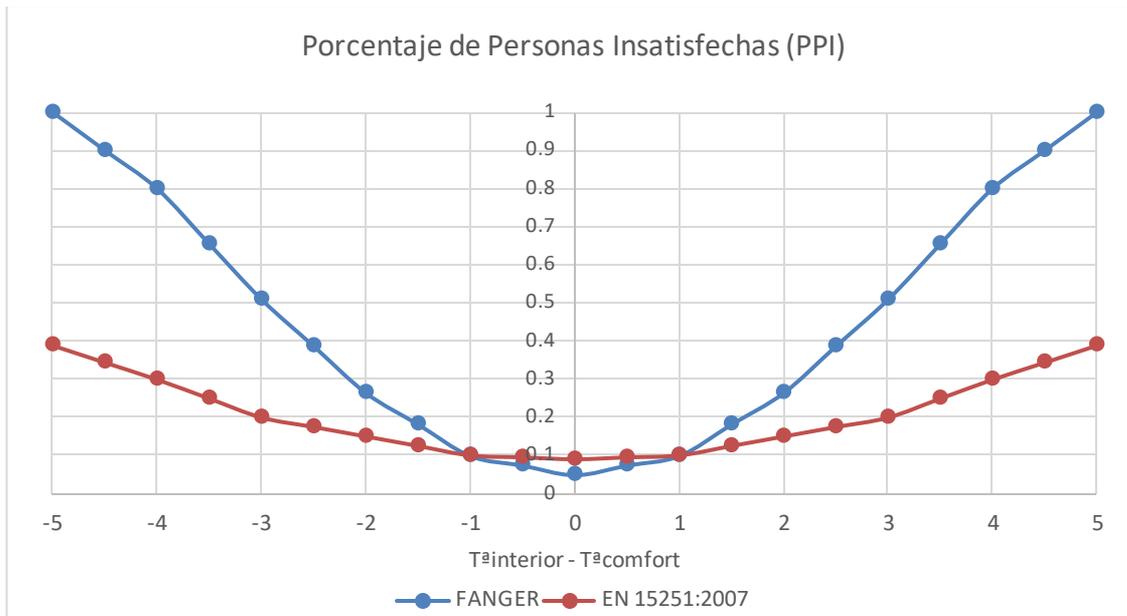


Figura 2. 5. Comparativa de la evolución del Porcentaje de Personas Insatisfechas (PPI) en los métodos de Fanger y en aquellos basados en el confort adaptativo (EN 15251:2008) en función de la diferencia de temperatura.

Para cerrar este apartado se incluye la siguiente gráfica (Figura 2.6) en la que se comparan los valores propuestos por ambos modelos de confort durante un periodo de tiempo determinado.

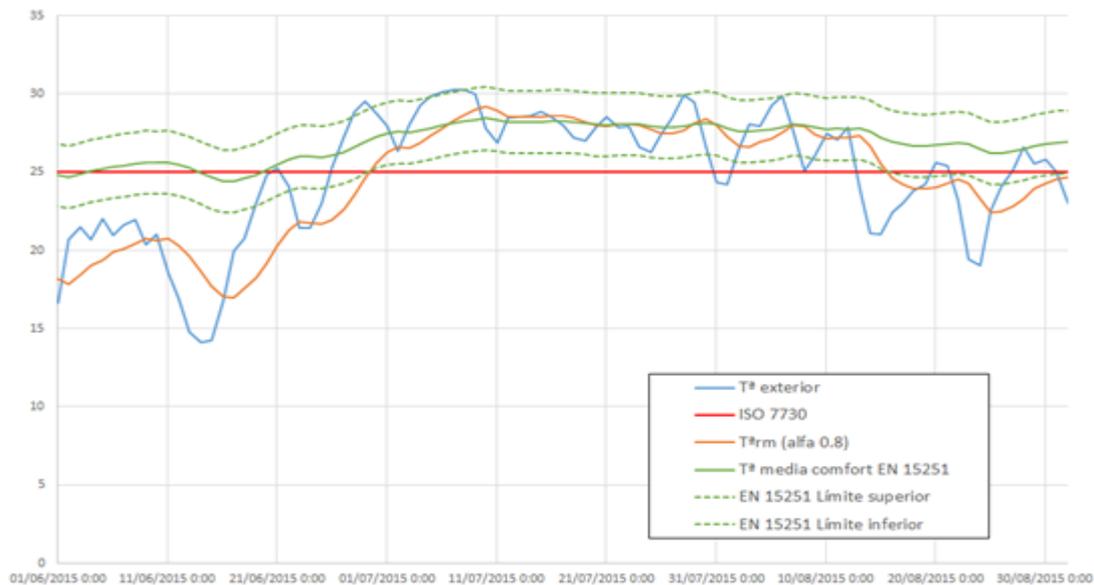


Figura 2. 6. Comparativa de la temperatura de confort propuesta por el método de Fanger y por el método de confort adaptativo (EN 15251:2008) en función de la diferencia de temperatura.

#### 2.4.4. Magnitudes derivadas para la evaluación del grado de confort

Tradicionalmente existe una magnitud usada para medir el grado de confort o desconfort de una vivienda que es el número de horas que la misma se encuentra fuera de confort. En esta definición se encuentran diversos aspectos que deben ser matizados:

- Dicho cálculo puede hacerse para la vivienda completa considerada como un único espacio o para cada uno de sus espacios por separado. La diferencia radica en que el cálculo, o la temperatura promediada si se hace a partir de medidas, para la vivienda completa va a presentar temperaturas más suaves que si se centra en espacios por separado.
- Por otro lado es muy importante definir qué se interpreta por “condiciones de confort” ya que dicha magnitud es muy subjetiva y se han hecho varias interpretaciones al respecto. No existe una temperatura en la cual todo el mundo se sienta confortable, el confort es un estado psicológico definido por el clima, la cultura y el nivel económico (Nicol F., Thermal confort in low carbon buildings). Si se centra en el confort térmico, tradicionalmente se aceptan unas temperaturas fijas de 20 °C en invierno y 25 °C en verano como estándar de confort. Dichas temperaturas son recogidas por la normativa internacional ISO 7730:2006, y en la española en el CTE-DB HE2 (Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios), todas ellas provienen y adoptan en mayor o menor medida el método propuesto por Fanger (Fanger P.O., Thermal Comfort, 1970). En la última década varios autores (De Gear, Nicols, Humphreys, McCartney etc.<sup>[30-32]</sup>) han trabajado en el concepto de confort adaptativo que se basa en la modificación de las exigencias por parte de los ocupantes de un edificio en función del clima exterior, dichos trabajos han dado lugar a las normas ASHRAE 55:2013 y UNE EN 15251:2007 que establecen unos límites de confort menos estrictos que los propuestos por Fanger, es decir más bajos en invierno lo cual es poco importante en climas mediterráneos pero más altos en verano lo cual si tiene mucha influencia en los climas del entorno del presente proyecto. La diferencia entre usar un modelo de confort clásico o el adaptativo es muy importante ya que darán lugar a número de horas en disconfort diferentes y, si como se va a ver en el siguiente punto se usase otra magnitud como la diferencia de temperatura acumulada, también habría una variación notable.
- Por último cabe pensar en que no se ponderen de igual forma aquellas horas con una diferencia de temperatura importante sobre la temperatura de confort, que aquellas horas en las que la variación sea mínima. Aunque parezca algo obvio, este razonamiento, que se apoya en el porcentaje de personas insatisfechas (PPI) en función de la diferencia de temperatura propuesto por el mismo Fanger, no ha sido expuesto por algunos autores hasta muy recientemente (Kordjamshidi M., House Rating schemes From Energy to Comfort Base, capítulo 3.2 Evaluation of a Residential Building’s Thermal Performance on the Basis of Thermal Comfort, 2011). Siguiendo este razonamiento la magnitud para evaluar el grado de confort pasaría de ser un sumatorio de horas a un sumatorio de diferencias de temperaturas, o bien a un sumatorio de diferencias de temperaturas ponderadas por el PPI. La diferencia entre usar una magnitud u otra es crítica ya que puede darse la circunstancia de que en dos periodos de tiempo, de la misma estación, un edificio acumule el mismo número de horas en disconfort y no obstante la diferencia de temperaturas acumuladas en dichos periodos sea muy distinta.

A continuación se expondrán algunos casos que ejemplifican las diferentes variaciones expuestas anteriormente, aclarando cuando dichas variaciones se corresponden por un cambio en el paradigma de “condiciones de confort”, expresado en el segundo párrafo, o a la magnitud que se considera como representativa del disconfort, explicada en el tercer párrafo.

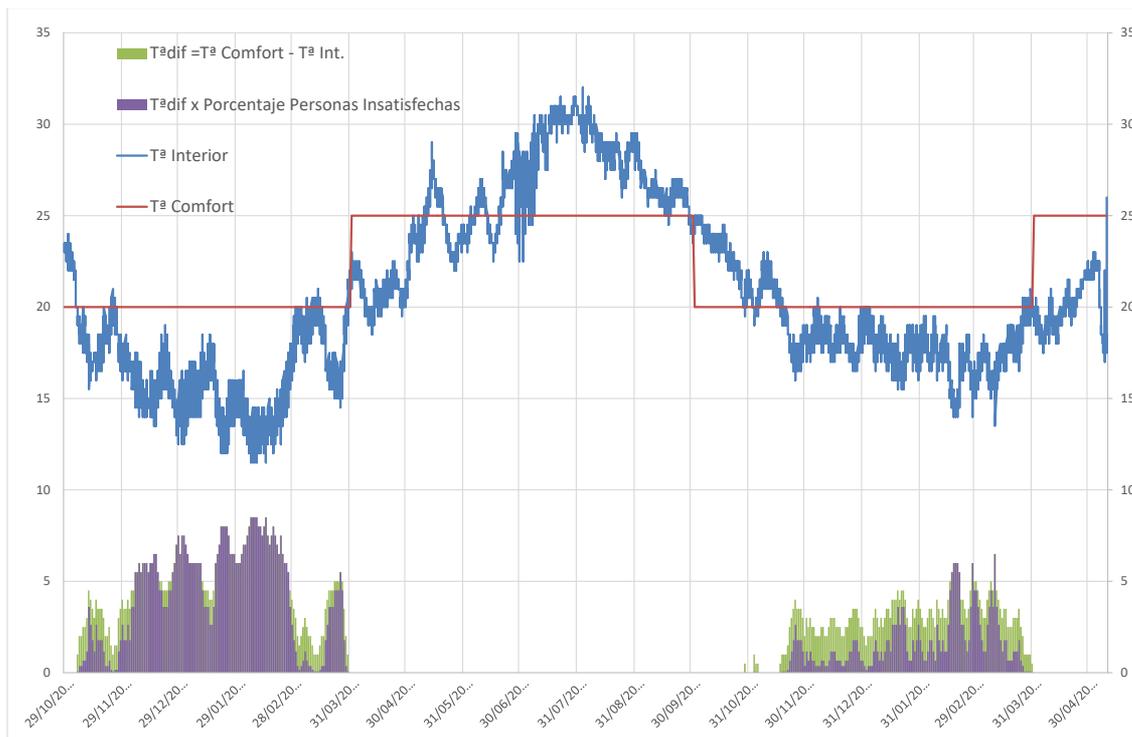


Figura 2. 7. Comparativa de los parámetros cuantitativos del desconfort en una zona de una vivienda durante dos inviernos consecutivos.

En el ejemplo mostrado (Figura 2.7) el número de horas en desconfort en el primer invierno y en el segundo son prácticamente iguales 3400 frente a 3122 horas –bajada del 8%-. No obstante el sumatorio de las diferencias de temperaturas da lugar a 14 130 °C.h el primer invierno frente a 7 624 °C.h en el segundo invierno (ver columnas verdes). Por último el sumatorio de las diferencias de temperaturas ponderadas por el porcentaje de personas insatisfechas da lugar a 11 206 °C.h en el primer invierno frente a 3 133 °C.h en el segundo. Como puede verse en el segundo parámetro se observa una baja del desconfort del 46%, y en el tercero del 72% frente al 8% inicial. Todas estas variaciones son ejemplos de lo que sucede cuando se modifican las condiciones expresadas en el tercer punto.

Las siguientes gráficas (Figuras 2.8, 2.9) muestran la cuantificación del confort en verano haciendo uso de las mismas tres magnitudes anteriormente citadas pero modificando el estándar de confort, de tal forma que la primera gráfica mantiene el valor de Fanger, mientras que la segunda usa el paradigma del confort adaptativo. En este caso las variaciones en las magnitudes que cuantifican el nivel de confort 7 754 °C a 3 331°C, o bien 4830 °C.h a 716 °C.h se deben a la modificación de lo que se entiende por temperatura de confort tal y como se describió en el segundo de los puntos desarrollados.

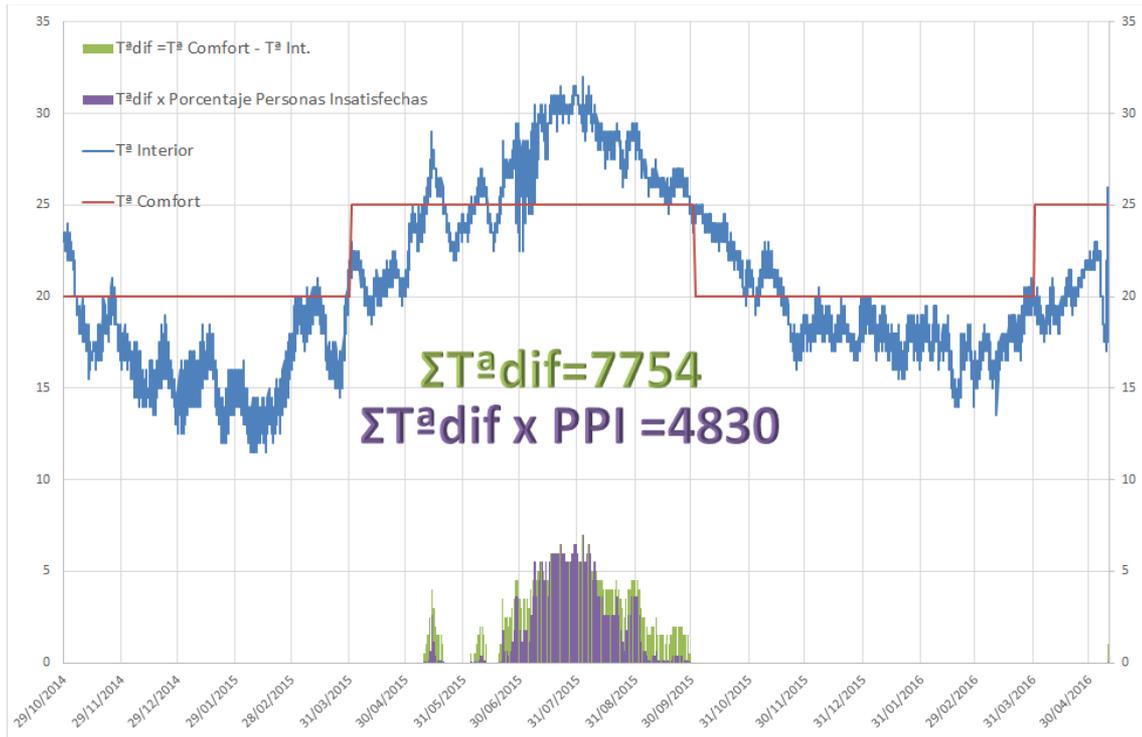


Figura 2. 8. Evaluación del confort en verano como sumatorio de diferencia de temperaturas y diferencias de temperaturas ponderadas por el PPI a partir de la temperatura de confort de Fanger.

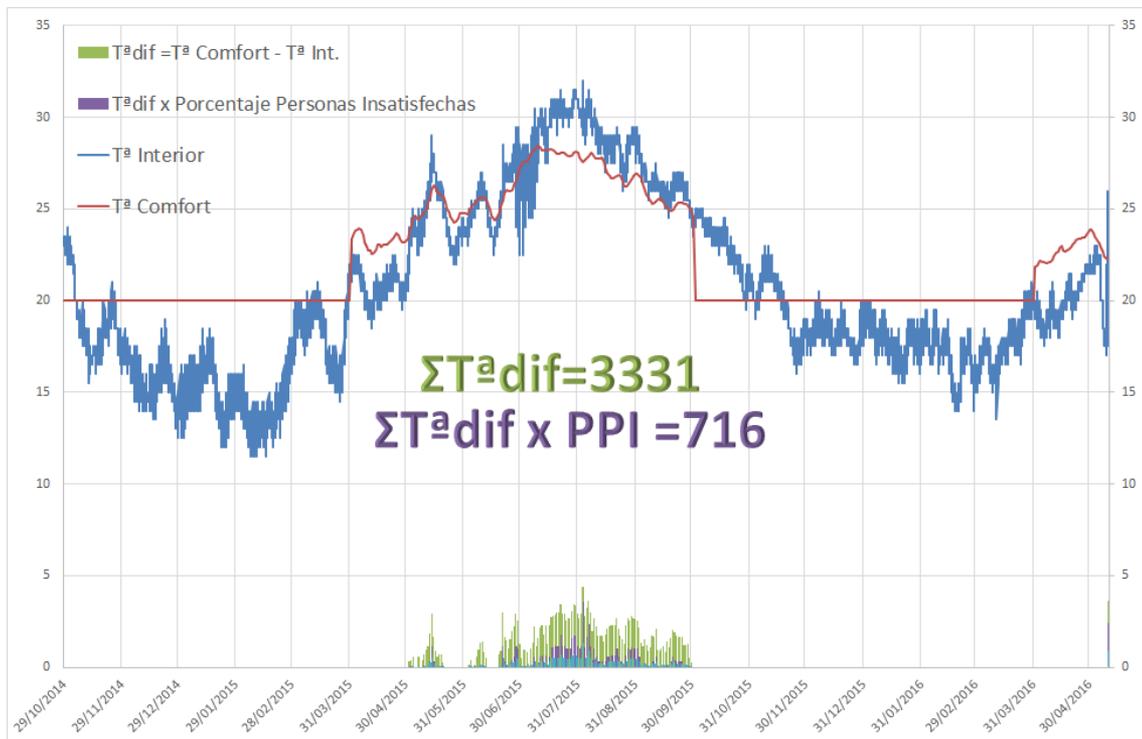


Figura 2. 9. Evaluación del confort en verano como sumatorio de diferencia de temperaturas y diferencias de temperaturas ponderadas por el PPI a partir de la temperatura de confort adaptativo (EN 15251:2008).

**2.4.4.1. Magnitudes derivadas para evaluar el riesgo de sobrecalentamiento**

A partir de las magnitudes anteriores y debido al riesgo de sobrecalentamiento de edificios observado a nivel europeo como consecuencia del diseño de edificios muy aislados que impiden la disipación de calor en la estación de verano, se ha dado lugar a la definición (CIBSE, The limits of thermal confort: Avoiding

overheating in European buildings, 2013) de los nuevos criterios que se deben cumplir para garantizar que un edificio se está diseñado para garantizar el confort de sus ocupantes evitando el sobrecalentamiento.

**Criterio 1: Horas de exceso sobre la temperatura de confort.**

Este criterio establece un límite para el número de horas que la temperatura operativa puede superar el límite superior de las temperaturas de confort en un grado, o más, durante las horas de ocupación del periodo comprendido del 1 de Mayo al 30 de Septiembre. El número de horas así calculado no debe ser superior al 3% de las horas de ocupación.

**Criterio 2: Horas de exceso ponderadas diariamente ( $W_e$ ).**

Este criterio trata de cuantificar la severidad del sobrecalentamiento, ya que la misma puede ser tan importante como su frecuencia. La severidad depende tanto del incremento de temperatura como de la duración de dicho incremento. Para este criterio existe una propuesta que establece un límite diario máximo de aceptabilidad de 6 usando la siguiente ecuación:

$$W_e = (h_{e0} \times 0) + (h_{e1} \times 1) + (h_{e2} \times 2) + (h_{e3} \times 3)$$

Ecuación 2. 7. Límite diario máximo.

Donde  $h_{ei}$  es el número de horas en las cuales la temperatura es superior a la temperatura de confort en  $i$  °C.

Los factores de ponderación así elegidos resultan proporcionales al incremento de temperaturas sobre el umbral de confort, no obstante esto es algo que puede revisarse en desarrollos futuros. Un buen punto de partida para ponderar dichos incrementos de temperaturas son los porcentajes de personas insatisfechas en cada rango de sobrecalentamiento tal y como se mostraron en la Figura 2.4.

**Criterio 3: Temperatura límite superior.**

Este criterio trata de establecer un límite máximo absoluto y diario para cada estancia, por encima del cual el nivel de sobrecalentamiento no sea aceptable. Dicho límite ha sido cuantificado en trabajos previos en 4°C.

En los tres criterios es de vital importancia decidir si se tienen en cuenta las horas por encima de la temperatura media de confort o por encima del umbral superior de las temperaturas de confort, tal y como se establecen en las diferentes categorías del Anexo A (informativo) de la norma EN 15251:2008.

# 3 APLICACIÓN DEL PROTOCOLO SOBRE LAS VIVIENDAS DE AVRA

## 3.1 Alcance

Una vez explicado el protocolo en el apartado anterior, en este epígrafe se va a realizar un análisis sobre el caso al cual se le va a aplicar, las viviendas. Para ello es necesario tener unas viviendas que estudiar, los datos de temperatura interior de la misma, los datos también del clima en el que se encuentra, así como los del consumo que se produce en ella y un modelo compatible con la aplicación de simulación Lider-Calener de dicha vivienda.

Es por eso, que en los siguientes apartados se va a realizar una descripción de las edificaciones a las que se le aplicará el protocolo así como todos los estudios previos, que comprenden la etapa 1 del protocolo, sobre clima, consumo y temperatura que son necesarios para poder obtener la línea base.

## 3.2 Estudio del caso

Se ha tomado como objeto de estudio una serie de bloques de piso de la barriada de Almánjayar perteneciente al Distrito Norte de la Ciudad de Granada (ver Figura 3.1), situada al sureste de España. Ésta es una zona de viviendas sociales promovidas por la Junta de Andalucía, que alberga a numerosas familias con un nivel socio-económico y cultural bajo.

Almánjayar se encuentra ubicada en una zona elevada y apartada respecto al centro de la ciudad. Se encuentra a unos tres kilómetros de éste. Además, las viviendas se encuentran separadas unas de otras y con grandes descampados lo que conlleva a un núcleo desestructurado. Las edificaciones en este barrio son en un 77% bloques plurifamiliares, siendo el resto viviendas unifamiliares.

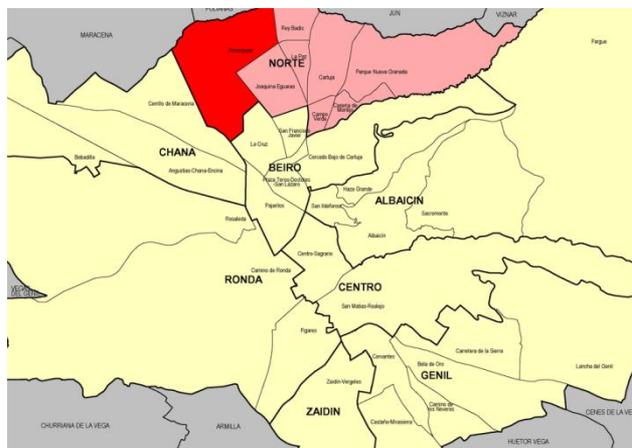


Figura 3. 1. Localización Almánjayar.

El clima en Almánjayar, por encontrarse en la capital, es un clima mediterráneo continentalizado con temperaturas frías y heladas en invierno, llegando a estar bajo 0 °C, y veranos calurosos teniendo temperaturas

máximas que superan los 35 °C. Es reseñable que la diferencia de temperaturas entre el día y la noche llega a ser de 20 °C. Según el Código Técnico de la Edificación (CTE)<sup>[26]</sup> DB HE-1, Granada es zona climática IV según la radiación solar global media diaria anual y es zona climática C3 según la severidad climática que se produce tanto en invierno como en verano.

RADIACION SOLAR GLOBAL			
	MJ/m <sup>2</sup> ·día	kWh/m <sup>2</sup> ·día	kWh/m <sup>2</sup> ·año
ZONA I	H < 13,7	H < 3,8	H < 1.389
ZONA II	13,7 ≤ H < 15,1	3,8 ≤ H < 4,2	1.389 ≤ H < 1.531
ZONA III	15,1 ≤ H < 16,6	4,2 ≤ H < 4,6	1.531 ≤ H < 1.683
ZONA IV	16,6 ≤ H < 18,0	4,6 ≤ H < 5,0	20 1.683 ≤ H < 1.825
ZONA V	H ≥ 18,0	H ≥ 5,0	H ≥ 1825

Figura 3. 2. Zonificación según la radiación solar (CTE).

### 3.2.1 Descripción de las viviendas

Las viviendas que van a ser objeto de análisis son cuatro de los nueve bloques de viviendas de protección pública (VPP) situadas en la plaza M<sup>a</sup> Josefa Recio (ver Figura 3.3).



Figura 3. 3. Localización.

Éstos van del bloque seis al bloque nueve. La distribución de los mismos y de los pisos que los componen no se muestra por mantener la confidencialidad de los mismos. Cada bloque se compone de cinco plantas que siguen la misma distribución. Los pisos del bloque seis están formados por una cocina, un baño, un salón-comedor, tres habitaciones y una terraza, son los únicos que disponen de una. En cuanto a los del bloque siete contienen, al igual que antes, una cocina, un baño, un salón-comedor y tres dormitorios a excepción de los pisos C que sólo poseen dos. El bloque ocho está constituido igual que el seis a excepción de la terraza y el bloque nueve como el piso C del bloque siete, es decir, posee solo dos dormitorios.

Estas viviendas fueron construidas en 1987 y han sido rehabilitadas energéticamente por la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA) entre Enero de 2014 y Junio de dicho año. La rehabilitación consistió en unas intervenciones propuestas, resultado de un análisis energético del edificio, teniendo en cuenta tanto criterios de ahorro energético como de optimización económica. Este hecho conlleva mejoras en el comportamiento energético por encima de los valores de referencia del CTE.

Concretamente, se actuó sobre las cubiertas, implementando un sistema con aislamiento térmico; los cerramientos, mediante el relleno de las cámaras de éstos por insuflación; en carpinterías, sustituyendo algunas existentes y colocando dobles ventanas en otras estancias de las viviendas; y en los puentes térmicos,

únicamente sustituyendo las cajas de persianas.

Así se tiene que las características constructivas de los bloques de pisos son:

- La estructura de los bloques es de pórticos de hormigón armado con pilares rectangulares, vigas de descuelgue y forjados unidireccionales.
- Las cubiertas sobre la última planta son planas y transitables sobre forjado de hormigón, terminadas con baldosín catalán sobre tela asfáltica. Sobre el castillete de las escaleras y el cuarto para la maquinaria del ascensor existe una cubierta plana no transitable, que vierte mediante bajante a la superficie de la azotea.
- Los cerramientos están formados por una citara de fábrica de ladrillo, cámara y un tabique formado por rasilla, sin aislamiento. La citara es de ladrillo con cara vista en las dos primeras plantas y acabada con enfoscado y pintura pétreo en las restantes.
- Las carpinterías de los ventanales son de aluminio. Tienen una altura de 1,40 m ya que presentan un paño fijo inferior cerrado con vidrio armado y encima las hojas practicables. Las persianas son de PVC.
- La puerta es de hierro en el portal. La cerrajería es de hierro pintado, así como los marcos de los huecos practicables de los paños de pavés.
- Paredes y techos están terminados en pintura plástica sobre yeso y los suelos solados en terrazo. Las escaleras están terminadas con peldaños prefabricados también de terrazo.

### 3.2.3. Orientación de la vivienda

Otro dato importante a conocer es la orientación de un edificio ya que contribuye en gran medida al consumo y por tanto al ahorro energético del mismo. Esto se debe a la incidencia de la radiación solar en las fachadas del bloque. La radiación solar varía a lo largo del año, es por eso que se debe conocer la trayectoria solar (Figura 3.4).

En verano, las fachadas orientadas al este y al oeste son las que mayor radiación reciben. Por su parte, en invierno la que mayor radiación recibe es la sur. Esto puede hacer que sea más necesario que la vivienda posea sistema de climatización.

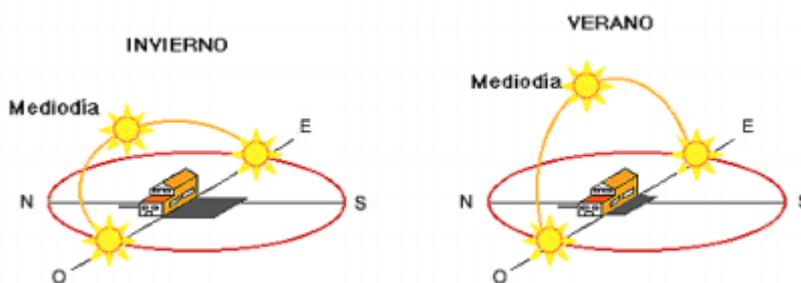


Figura 3. 4. Radiación solar.

Los bloques de piso poseen las siguientes orientaciones (Tabla 3.1):

Bloque	Orientación
Bloque 6	SO-SE
Bloque 7	NO-SE
Bloque 8	NO-SE
Bloque 9	NO-NE-SE

Tabla 3. 1. Orientación de los bloques.

Con esta información se observa que en verano la radiación incide sobre más superficies por lo que será necesario un sistema de refrigeración en la mayoría de los casos.

### 3.2.4 Revisión de los datos

#### 3.2.4.1 Equipos de medición

Para poder analizar las viviendas son necesarios datos de temperatura interior, es por ello que AVRA colocó en treinta de dichos pisos varios medidores, concretamente cuatro: un monitor de consumo de energía eléctrica, dotado de un equipo emisor; y tres registradores de datos de temperatura y humedad relativa colocados en el salón, en el dormitorio de matrimonio y en un dormitorio individual. En la Figura 3.5 se observa un ejemplo de la ubicación de los mismos.

Además, en cuatro de los treinta pisos antes mencionados, se colocó un registrador de temperatura y humedad relativa en el exterior de la vivienda para registrar sus condiciones externas.

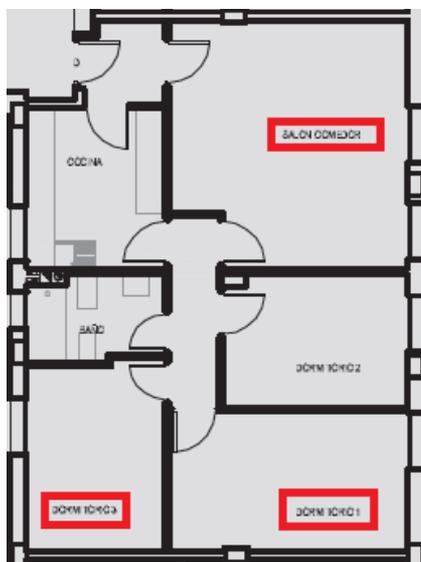


Figura 3. 5. Ubicación sensores.

De estos equipos se conocen todas sus especificaciones técnicas, reflejando aquí las principales. Del monitor de consumo de energía eléctrica se sabe:

Característica	Valor
Rango de medición	desde 60mA
Precisión	> 90%
Rango de voltaje	110V - 400V

Tabla 3. 2. Especificaciones del monitor de consumo de energía eléctrica.

En cuanto al registrador de temperatura y humedad relativa, se distingue entre ambas mediciones:

Característica	Valor
Rango de medición	-35 a 80 °C
Precisión	±0,5 °C típica; ±2,0 °C máx
Resolución	0,5 °C

Tabla 3. 3. Especificaciones del registrador de temperatura.

Característica	Valor
Rango de medición	0 a 100% RH
Precisión [20 a 80% RH]	±3,0% RH típica; ±6,0% RH máx
Error típico	±3%R 0.1% RH

Tabla 3. 4. Especificaciones del registrador de humedad relativa.

La capacidad de almacenamiento de memoria que tienen los dispositivos es de un año. La descarga de datos se realiza por un puerto USB y el software de gestión de los mismos ha de ser compatible con los equipos de monitorización.

#### 3.2.4.2. Verificación

Una vez recopilados los datos procedentes de los medidores, se comienza el análisis de los mismos.

Al recoger los datos, se encontraron diferentes inconvenientes, por ello lo primero que se ha realizado es una revisión de los mismos, es decir, ver si los medidores han tomado o no los datos. Para esta tarea se ha partido de un archivo Excel suministrado por AVRA donde se recogen las condiciones en las que se encontraba cada equipo a la hora de recuperarlos de cada vivienda.

Con ello se ha elaborado un nuevo documento en el mismo programa que recoge el estado real de los datos al comparar lo expuesto en el archivo mencionado con las hojas de datos obtenidas de cada medidor para cada uno de los pisos, documentos que igualmente han sido proporcionados por la Agencia. Las tablas en las que se ha recolectado dicha información se encuentran expuestas en el Anexo 7.1.

Igualmente, dados que los datos que la Agencia ha suministrado no estaban en base diaria, el primer paso a dar con dicha información es cambiarla esa base.

Las viviendas monitorizadas del bloque seis son siete; en el caso del bloque siete, nueve; del bloque ocho se monitorizaron diez; y por último, del bloque nueve se colocaron medidores en cuatro.

En la Figura 3.6 se representan dichos pisos por cada una de las plantas. Los señalados en verde son aquellos de los cuales se tienen todos los datos, los indicados en ámbar son los pisos de los que se tiene información pero no al completo, y por último, los resaltados en rojo, son aquellos de los que no se tiene ningún dato o los datos que se tienen no son representativos por ejemplo por estar el medidor dentro de un cajón.

Como puede observarse, el balance de pisos que pueden ser analizados no es muy bueno ya que solo el 27% de ellos tienen mediciones completas, siendo un 60-70% los que, aun a falta de ciertos datos, pueden ser analizados.



Figura 3. 6. Revisión de los datos por piso.

Una vez obtenida esta revisión se crea una tabla donde se recogen, de cada vivienda de la que se tienen datos, características tales como orientación, superficie, número de ocupantes, tipología de climatización, de agua caliente sanitaria (ACS) y de cocina, fechas entre las que se tienen datos y algunas observaciones. Dicha tabla se recoge en el Anexo 7.2. Esta tabla será muy útil para poder comparar pisos con características similares.

Cabe destacar que se desconoce cuán veraces son dichos datos, es decir, por ejemplo si cuando en la tabla se indica que no hay sistema de climatización es porque realmente el piso carece de él o simplemente por no haberse podido recaudar dicha información.

### 3.3. Datos climáticos

#### 3.3.1 Descripción

Los datos climáticos reales son clave a la hora de la obtención de la línea base. Para obtener dichos datos del barrio de Almánjayar se han buscado cuáles son las estaciones meteorológicas más cercanas (Figura 3.7). En Granada hay un total de trece estaciones de las cuales once están activas. Existen tres cercanas a Almánjayar. La más próxima está situada en Pinos Puente, pero ésta es una de las dos inactivas. Dejó de recoger datos en Marzo de 2015 por lo que para el presente estudio se debe optar por seguir otra vía.



Figura 3. 7. Estaciones meteorológicas de Granada.

Un poco más alejadas que ésta pero también cercanas al barrio que se está analizando, hay dos estaciones meteorológicas situadas en Iznalloz y en El Padul. Al elegir estas estaciones, como se ve en la Figura 3.8, el barrio de Almánjayar queda prácticamente situado en el centro de ambas. Esto permitiría hacer una aproximación con la media aritmética entre las mismas.



Figura 3. 8. Localización estaciones meteorológicas.

Los datos se han obtenido de la página web del Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de la Consejería de Agricultura, Pesca y Desarrollo Rural perteneciente a la Junta de Andalucía. Estos datos están recogidos también en la página del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente del Gobierno de España.

La estación climática de Iznalloz está situada a unos 37 kilómetros de Granada, en el centro de la comarca de Los Montes, con unos 935 metros de altitud (197 más que Granada). Por su parte, la estación de El Padul está a 13 kilómetros al sur de Granada, en la comarca del Valle de Lecrín, y 43 metros por encima de ésta (781 metros de altitud).

Para verificar la elección de estas dos estaciones y ver qué opción es la más adecuada se han comparado los datos adquiridos de la Junta de Andalucía con los extraídos de un equipo de medida colocado en el exterior de una vivienda del bloque siete. Dado que los datos que más afectarán a las líneas base son la temperatura y la radiación, son los dos elementos que se van a estudiar.

### 3.3.2 Resultados

Comenzando por la temperatura, se han elaborado tres comparaciones, enfrentando la temperatura exterior de la vivienda con cada una de las temperaturas de las estaciones así como la media entre ambas. En las gráficas representadas en las Figuras 3.9, 3.10 y 3.11 se tienen dichas comparaciones.

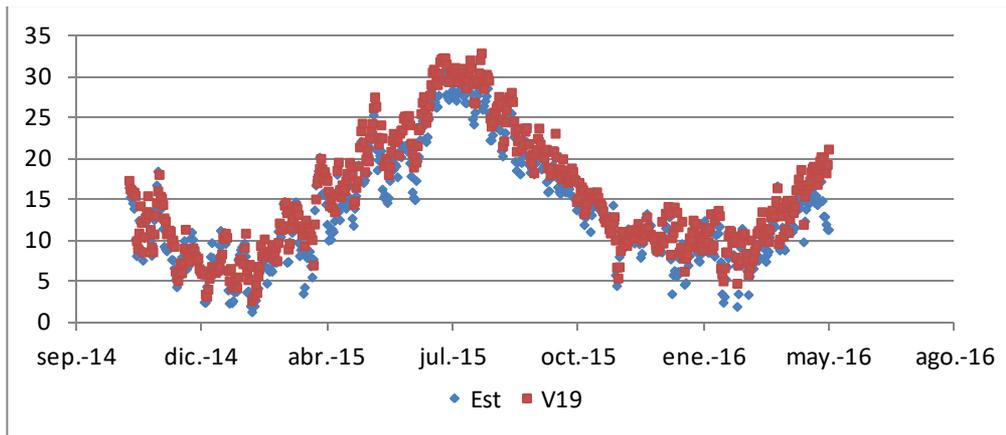


Figura 3. 9. Vivienda vs media entre estaciones.

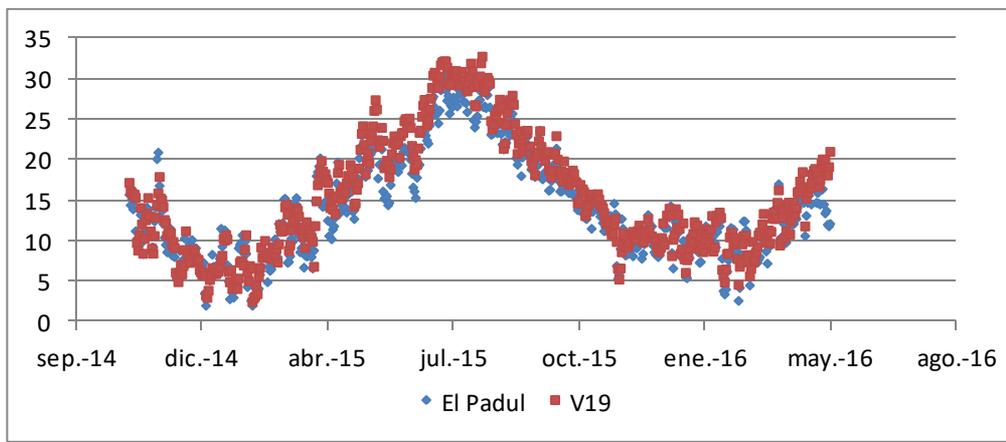


Figura 3. 10. Vivienda vs estación El Padul.

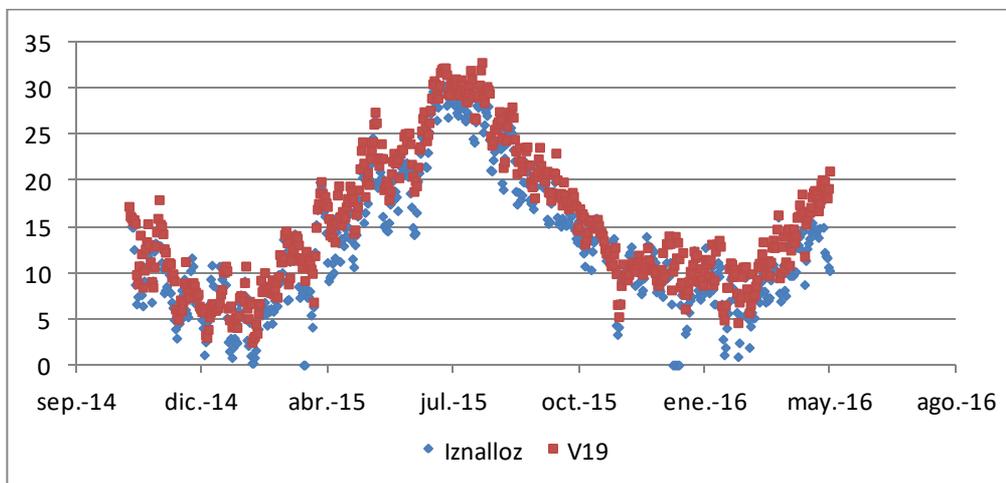


Figura 3. 11. Vivienda vs estación Iznalloz.

En cuanto a la radiación, como los medidores colocados en el edificio no toman valores de la misma se va a estudiar la influencia que tiene sobre los datos recogidos de El Padul, la cercanía de esta estación al sistema montañoso de Sierra Nevada. Esta incidencia se comprueba haciendo una comparación con la estación de Iznalloz ya que ésta está más alejada de Sierra Nevada.

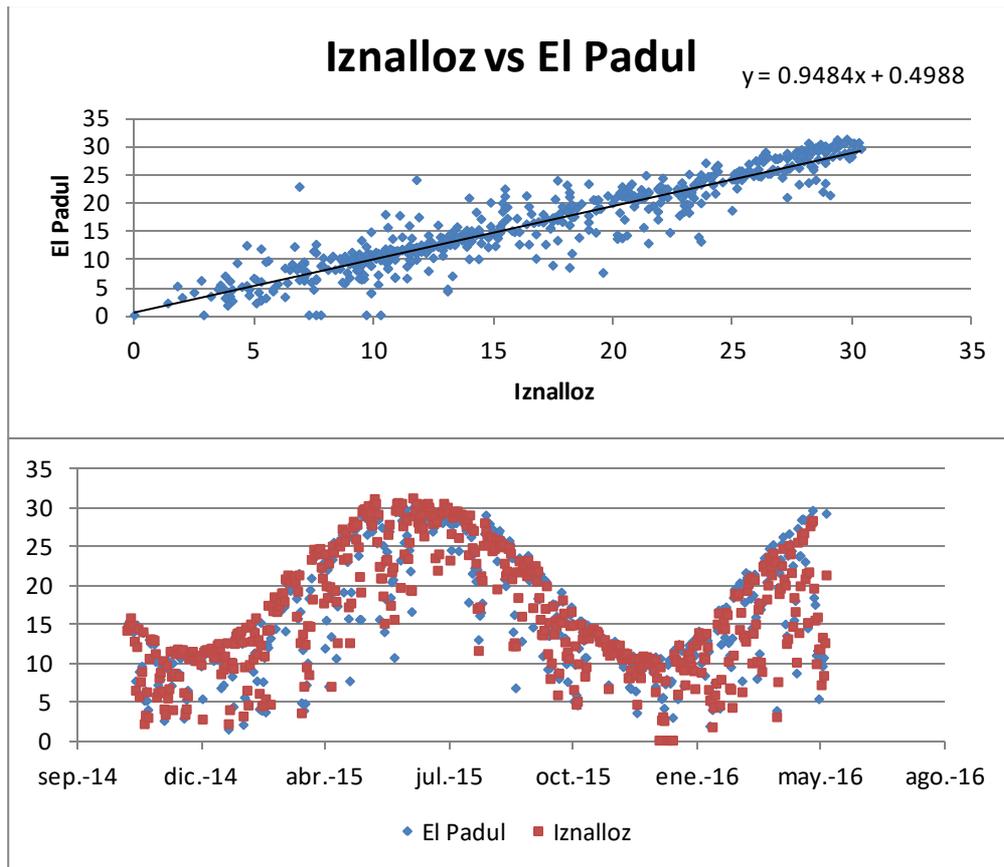


Figura 3. 12. Comparación radiación.

### 3.3.3 Conclusión

Al observar los resultados plasmados en las Figuras 3.9, 3.10 y 3.11, se ve que la mejor opción en cuanto a temperatura es tomar los datos de la estación meteorológica de El Padul, pero como se tienen medidas reales gracias al medidor exterior en una de las viviendas, se van a utilizar esos datos por ser más exactos.

Como se puede observar en las gráficas de la Figura 3.12 la radiación no se ve gravemente afectada por estar El Padul muy próximo a Sierra Nevada. Es por ello que optar por la hipótesis de tomar los datos climáticos, y en concreto de la radiación, de esta estación meteorológica se sostiene.

## 3.4. Temperatura interior

### 3.4.1. Descripción

Para la aplicación del protocolo es necesario conocer la temperatura interior de la vivienda. Las viviendas no están compuestas por una única zona, si no que poseen diferentes estancias. El día a día en una casa suele desarrollarse generalmente en las zonas comunes como por ejemplo el salón. Es por ello que en este estudio se va a ver cómo de representativa es la temperatura del salón respecto a la de la vivienda.

Con dicho fin, se ha tomado la temperatura media diaria, calculada promediando los datos horarios medidos, del salón y de la vivienda, enfrentándolas posteriormente para observar las diferencias. La obtención de la temperatura media horaria de la vivienda se ha realizado a partir de una media ponderada (ecuación 3.1.) con las temperaturas y las superficies de las estancias de las que se tienen datos.

$$T_{VIV} = \frac{T_{SALÓN}S_{SALÓN} + T_{DORM}S_{DORM} + T_{MATR}S_{MATR}}{S_{SALÓN} + S_{DORM} + S_{MATR}}$$

Ecuación 3. 1.Temperatura de la vivienda.

Las superficies de todas las habitaciones se han obtenido a partir de los planos que AVRA suministró. Dichos valores se recogen en la Tabla 3.5. Es destacable comentar que estos valores son equivalentes en todas las viviendas.

HABITACIÓN	SUPERFICIE (m <sup>2</sup> )
SALÓN	20.1875
MATRIMONIO	11.375
DORMITORIO	9.75

Tabla 3. 5. Superficies de las habitaciones.

### 3.4.2 Resultados

En las gráficas expuestas a continuación (Figura 3.13) se representan tanto la temperatura del salón (en azul) como la de la vivienda (en rojo), consiguiendo así una perspectiva visual de la semejanza o diferencia entre ellas. Antes de ello, se debe saber qué viviendas poseen climatización y cuáles no ya que este hecho va tener influencia en los resultados. Esta documentación se recoge en el Anexo 7.3.

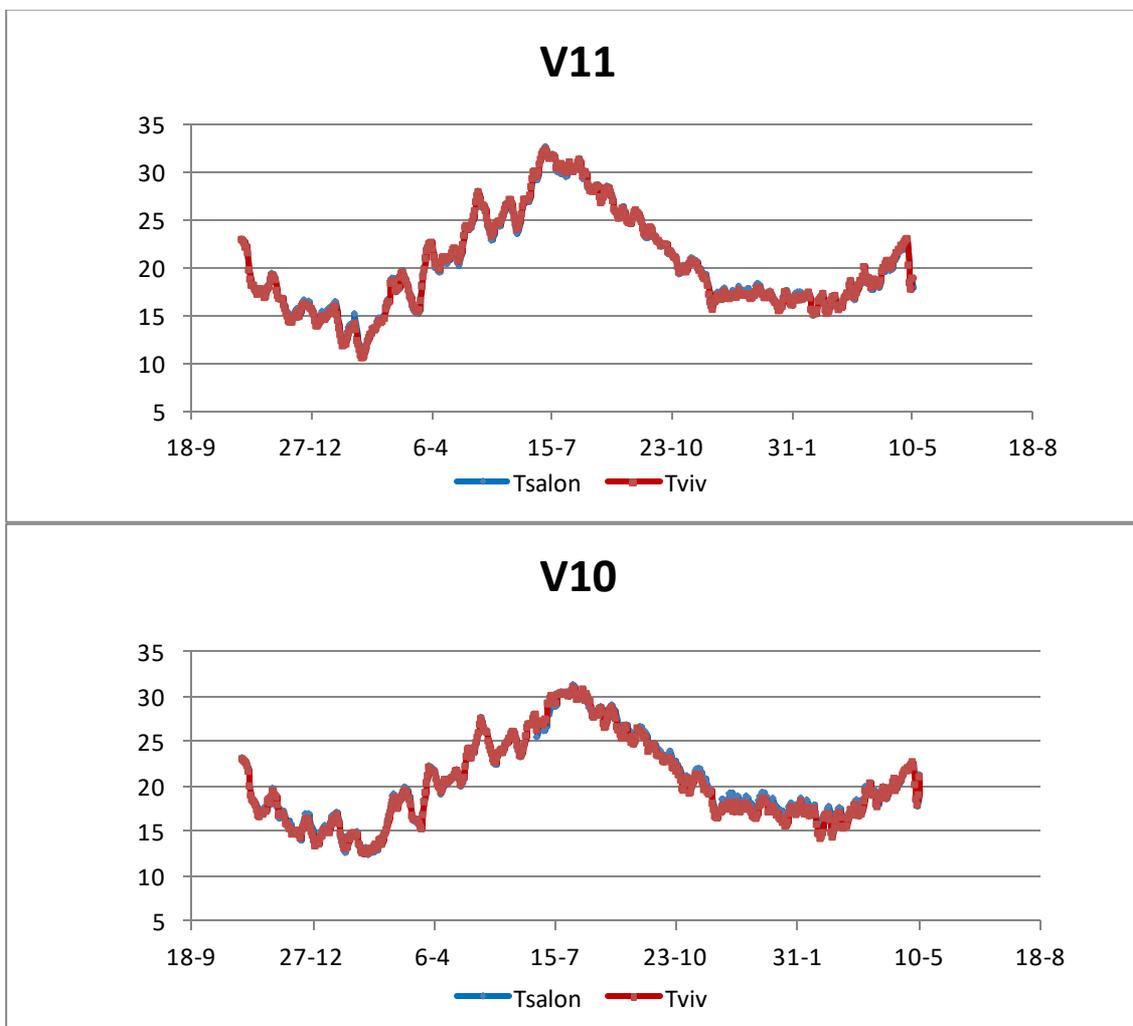


Figura 3. 13. Gráficas  $T_{\text{salón}}$  vs  $T_{\text{vivienda}}$ .

Como puede observarse, la diferencia que se produce en todos los casos es muy pequeña. Para verlo más claramente, se hace una comparación como la de la Figura 3.14. Es decir se observa el valor de la pendiente de

la recta de regresión constituida por los puntos obtenidos de enfrentar una temperatura y otra. Estos valores, para todas las viviendas de las que se tienen datos, se recogen en la tabla del Anexo 7.3. En ella se observa que los valores más elevados siempre corresponden a pisos acondicionados, no sucediendo lo mismo con las pendientes más bajas. Aún así, en todos los casos se encuentran entre 0,96 y 1,15.

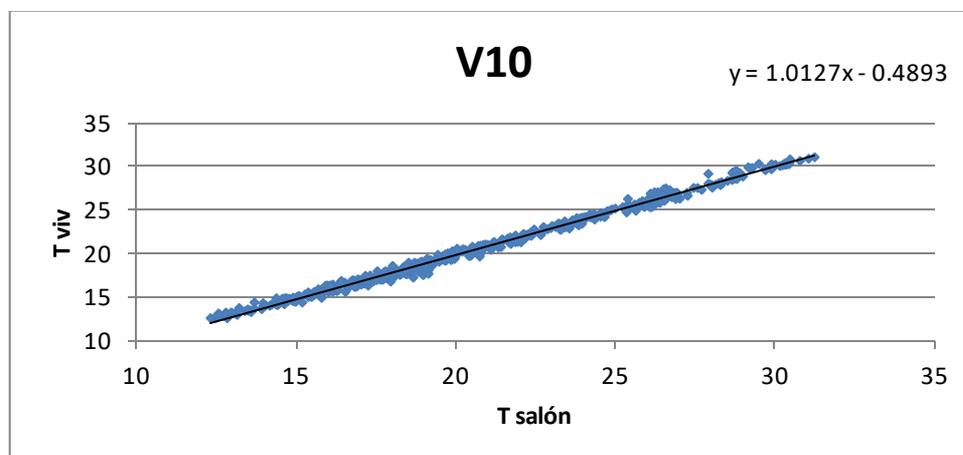


Figura 3. 14. Recta de regresión  $T_{\text{salón}}$  vs  $T_{\text{viv}}$

### 3.4.3. Conclusión

Con estos resultados obtenidos y reflejados en las gráficas del apartado anterior, se aprecia que tanto para las viviendas que no tienen sistema de climatización como para las que sí, las temperaturas son muy similares. Esto se debe a que la zona climatizada, en caso de que exista, es el salón.

Los valores de las pendientes al ser tan próximos a la unidad conllevan a deducir que la temperatura del salón es representativa de toda la vivienda. Es cierto que dichos valores deberían ser más bajos en los pisos no acondicionados pero no siempre es así. Esto lleva a pensar que aquellos pisos que poseen aire acondicionado pero tienen una pendiente baja, pueda ser que no lo utilicen, ya sea porque no es necesario o porque por motivos económicos no hacen uso de él.



## 4 APLICACIONES

### 4.1 Alcance

En este capítulo se va a exponer la aplicación del resto de etapas para la obtención del modelo. Para ello se tomará una de las viviendas citadas en el capítulo 3 a la que se le va a aplicar el protocolo.

Primero, se realizará un estudio de la herramienta de simulación utilizada, describiendo los diferentes casos que ésta ejecuta, así como los resultados que se obtienen de ella.

En el apartado 4.2, se determinará la estación intermedia (Etapa 2), requisito indispensable para la línea base de la vivienda. En la sección que le sigue, se trabajará en la Etapa 3, o sea, se va a obtener el óptimo número de coeficientes necesarios para obtener la línea base de temperatura en la estación intermedia. Además, en dicha sección se incluirá la verificación de la misma.

Por último, se explotará el modelo obtenido, consiguiendo así ver una muestra del potencial que éstas poseen.

### 4.2. Herramienta Unificada Lider-Calener

Como se comentó anteriormente, la herramienta unificada Lider-Calener es la que se utiliza para obtener las simulaciones de las distintas viviendas que son objeto de estudio. Es por ello que en este apartado se van a profundizar en cada uno de los casos o pasadas que esta herramienta realiza, tanto las características del caso como los datos resultados que se obtienen de él.

- Caso 1: Evolución libre del edificio con operación normal pero sin funcionamiento del equipo de acondicionamiento.
- Caso 2: Evolución libre del edificio con una única excitación en temperatura exterior constante e igual a 0 °C y con una consigna interior de 1 °C. A partir de esta pasada se calcula el coeficiente global de transferencia en 3 situaciones:
  - Sin efecto de puentes térmicos ni infiltraciones.
  - Con efecto de puentes térmicos y sin infiltraciones.

Con ello se obtienen el  $UA$  global, el  $UA$  con el incremento debido a los puentes térmicos.

- Caso 3: Al caso anterior, se le suma el efecto de puentes térmicos e infiltraciones. En este caso se obtiene el  $UA$  con el incremento debido a las infiltraciones.
- Caso 4: Evolución libre del edificio sin efecto de la radiación solar ni de las fuentes internas. Para ello en el caso se eliminan los datos debidos a la ocupación, la iluminación y los equipos. Asimismo, se elabora un archivo climático con radiación nula. Con los resultados de este caso se confirma que la temperatura media interior de los espacios coincide con la media exterior.
- Caso 5: A la pasada anterior se le añade el efecto de las fuentes internas. Así se calcula el incremento de temperatura debido a fuentes internas. Además se obtiene la potencia instalada en W que existe en el edificio. Esta potencia es el incremento de temperatura debido a las fuentes internas partido por el  $UA$  global con puentes térmicos e infiltraciones.
- Caso 6: Se realiza una simulación sin fuentes internas y con una radiación solar constante e igual a 100 W/m<sup>2</sup> durante las 8760 horas que componen el año. De este modo se calcula el sobrecalentamiento debido a la radiación, es decir, se obtiene el incremento de temperatura debido a la radiación mes a mes. Con este incremento, se obtiene el área solar mensual, que sería el  $UA$  global por el incremento de temperatura calculado partido por la radiación incidente (100 w/m<sup>2</sup>). Para esta área solar obtenida se hace la hipótesis de que está vinculado a cada día 15 de cada mes. Se debe tomar en consideración que el día 1 de Enero y el 31 de Diciembre no deben presentar una discontinuidad.

Gracias a estas áreas solares se obtiene una ley que traduce la radiación global medida en la estación

meteorológica en la radiación incidente y efectiva sobre el edificio. Esta ley es únicamente una función de la posición solar y de la geometría de la vivienda.

### 4.3. Determinación de la estación intermedia

Como ya se explicó en el desarrollo del protocolo, la determinación de la estación intermedia se realizará en base a dos procesos: uno mediante un programa de simulación, y otro a partir de los consumos de la propia vivienda. Esto es lo que se pretende en este epígrafe.

#### 4.3.1. Simulación

El siguiente paso a dar para la realización de la línea base es el uso de un programa de simulación. En este caso se ha utilizado el programa Lider-Calener, el cual se le introduce un modelo del edificio compatible y devuelve, como resultados que se vayan a utilizar para el cálculo del modelo, temperaturas interiores en diferentes situaciones, así como coeficientes de transferencia.

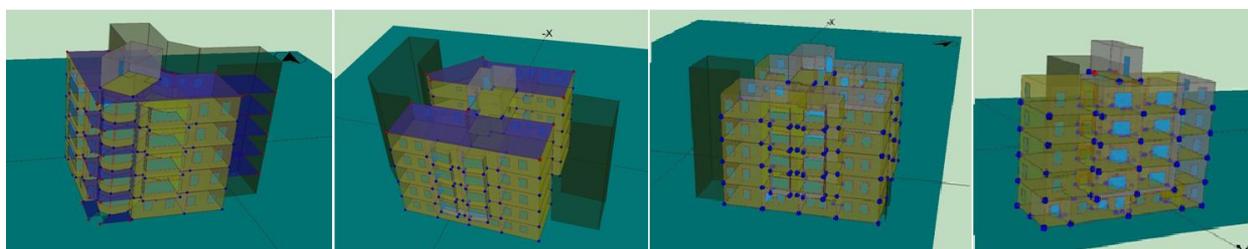


Figura 4. 1. Ejemplos modelo Lider-Calener.

Aquí se utilizarán los valores de temperatura que devuelve la herramienta en las condiciones del caso 1 expuestas en el Apartado 4.2, o sea, en evolución libre del edificio teniendo en cuenta las aportaciones que se producen tanto debidas a la incidencia solar como a las fuentes internas. A partir de estos datos, se obtiene el porcentaje de horas que la vivienda está en zona de confort que se recoge en la Tabla 4.1. En ella se ve que el mes que mayor porcentaje tiene es Octubre.

Igualmente, los meses de Septiembre y Noviembre poseen un pequeño porcentaje de días dentro de la zona de confort. Si se comprueba en los datos de temperatura se ve que esos porcentajes corresponden a los días finales de Septiembre y los primeros de Noviembre. Es por ello que esta época es la candidata a ser estación intermedia.

	V10
Enero	2.6
Febrero	1.7
Marzo	7.8
Abril	11.3
Mayo	69.8
Junio	36.0
Julio	0.1
Agosto	0.0
Septiembre	15.6
Octubre	82.5
Noviembre	8.5
Diciembre	2.4

Tabla 4. 1. Porcentaje de horas en condiciones de confort de V10.

Se puede apreciar también que los meses de Abril, Mayo y Junio podrían ser otros candidatos. Pero al ser su porcentaje menor, se dejarán como segunda opción. Es decir, si al crear el modelo con los meses de Septiembre, Octubre y Noviembre el modelo no se aproximase lo deseado a la realidad, se tomaría la segunda opción.

El otro punto a analizar de los datos obtenidos de la simulación es el cálculo del área de captación solar. Se obtendrá una por cada mes del año. La fórmula para obtenerla, ya comentada en el apartado 2.3.3, es:

$$AS = \frac{\Delta T_{GS} * UA * N_{horas}}{RD_{global}}$$

Ecuación 4. 1. Área de captación solar.

Como se expuso en el capítulo 2, la Herramienta Unificada Lider-Calener proporciona temperaturas en tres situaciones. De ellas se van a utilizar dos, las proporcionadas en el caso 5, evolución libre de la vivienda considerando únicamente el aporte de las fuentes internas, y en el caso 6, evolución libre del edificio teniendo en consideración las aportaciones solares y de las fuentes internas. Obteniendo la diferencia entre estas temperaturas se obtiene  $\Delta T_{GS}$ .

De esta herramienta también se obtiene el coeficiente  $UA$ . En este proyecto se va a utilizar el  $UA$  global, es decir, el que se obtiene a partir del caso 4. Con estos valores, unidos al número de horas de cada mes y a la radiación global se obtiene el área de captación solar.

Con ello se busca realizar una ley solar que dado un día del año, calcule un factor corrector para la radiación solar. Esta ley necesita además del área de captación solar. Aunque se haya obtenido esta área para todos los meses, solo se utiliza el del mes que se tome como estación intermedia, en este caso Octubre. En definitiva, la ley solar tendrá una forma similar a la recogida en la Ecuación 4.2.

$$L_{AS} = \frac{a_0 + a_1d + a_2d^2 + a_3d^3 + a_4d^4 + a_5d^5 + a_6d^6}{AS}$$

Ecuación 4. 2. Ley solar.

El numerador se obtiene a partir de una línea de regresión creada por el programa EES (Engineering Equation Solver). Para ello se crea una tabla paramétrica como la que aparece en la Figura 4.2. A continuación, se crea una línea de regresión con el número de coeficientes que sea necesario. En este caso se ha optado por un total de seis como se ve en la Figura 4.3.

1.12	1 As	2 t
Run 1	3.5	15
Run 2	3.5	46
Run 3	2.96	75
Run 4	2.42	106
Run 5	2.3	136
Run 6	2.56	167
Run 7	2.82	197
Run 8	2.81	228
Run 9	3.07	259
Run 10	3.33	289
Run 11	3.93	320
Run 12	4.07	350

Figura 4. 2. Tabla paramétrica.

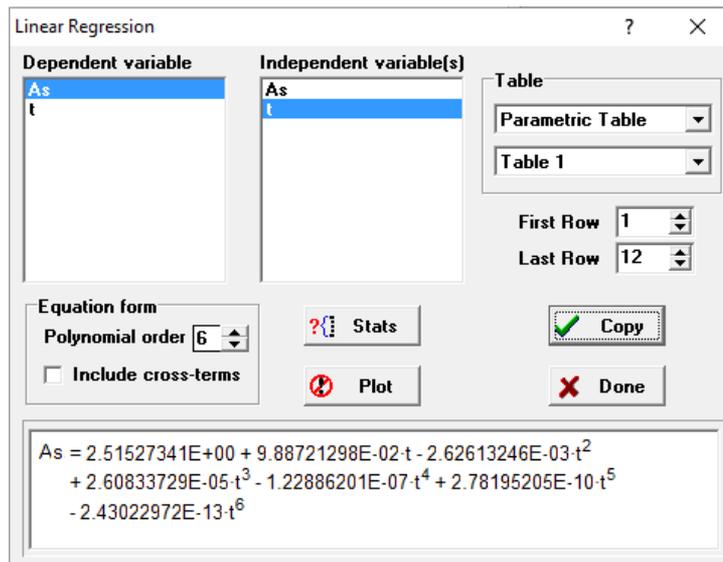


Figura 4. 3. Obtención línea de regresión.

En la siguiente figura puede verse cómo esta línea se ajusta a los valores reales, demostrando así que esta ley es válida.

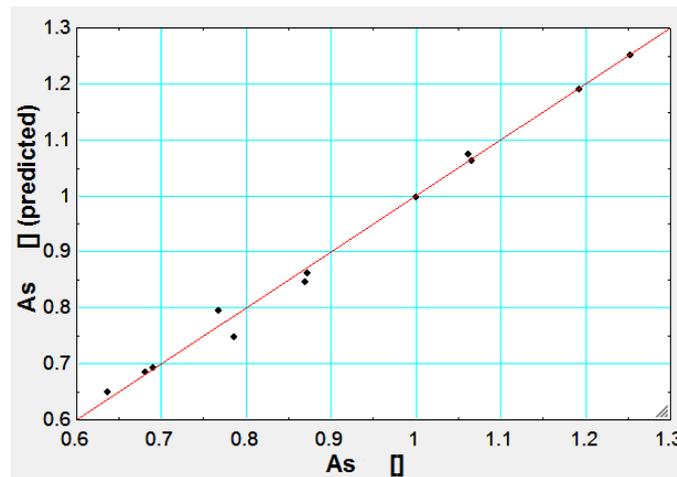


Figura 4. 4. Línea de regresión.

Por ejemplo, la ley solar para la vivienda V19 sería la representada en la Figura 4.5.

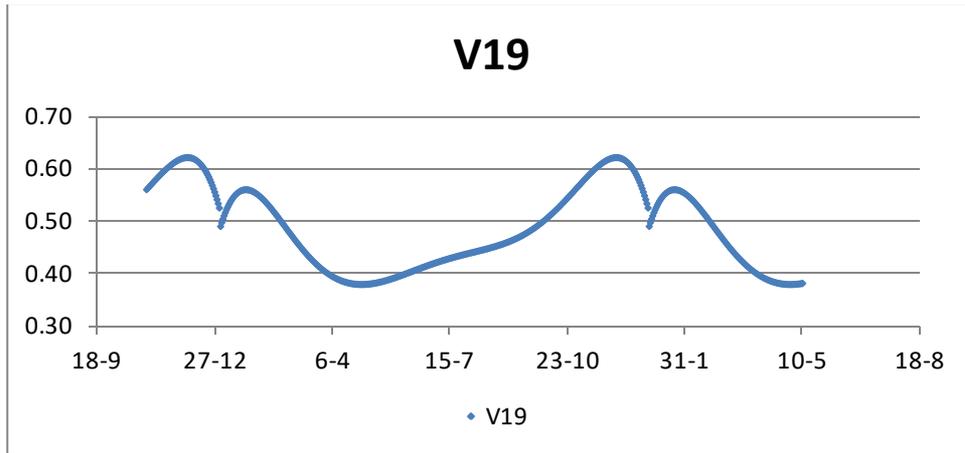


Figura 4. 5. Representación del área de captación solar.

Como se ve en la figura, el día 1 de Enero y el 31 de Diciembre no coinciden perfectamente a pesar de que deberían hacerlo aunque el salto que se produce es pequeño.

Terminado el trabajo con las simulaciones se pasa a estudiar con los consumos.

### 4.3.2. Consumos

En este apartado además de decidir qué estación intermedia va a ser utilizada para el cálculo del modelo, se va a justificar el porqué de no calcular una línea base de consumos para las viviendas.

Para poder hacer un modelo de consumo, sería necesario obtener un perfil diario que evalúe los consumos. Como puede observarse tanto en la Figura 4.6 como en la Figura 4.7 para un mismo mes en dos viviendas similares, los consumos difieren mucho. La única diferencia existente entre ambas viviendas es el número de habitantes en ellas. Según los datos, la vivienda V10 tiene 7 ocupantes y la vivienda V20 solo 4. Esto llevaría a pensar que la primera vivienda mencionada, al tener menor número de ocupantes consumiría menos. Sin embargo, como se aprecia en estas figuras, no sucede así. Se ve claramente el efecto que tiene el usuario en estos casos.

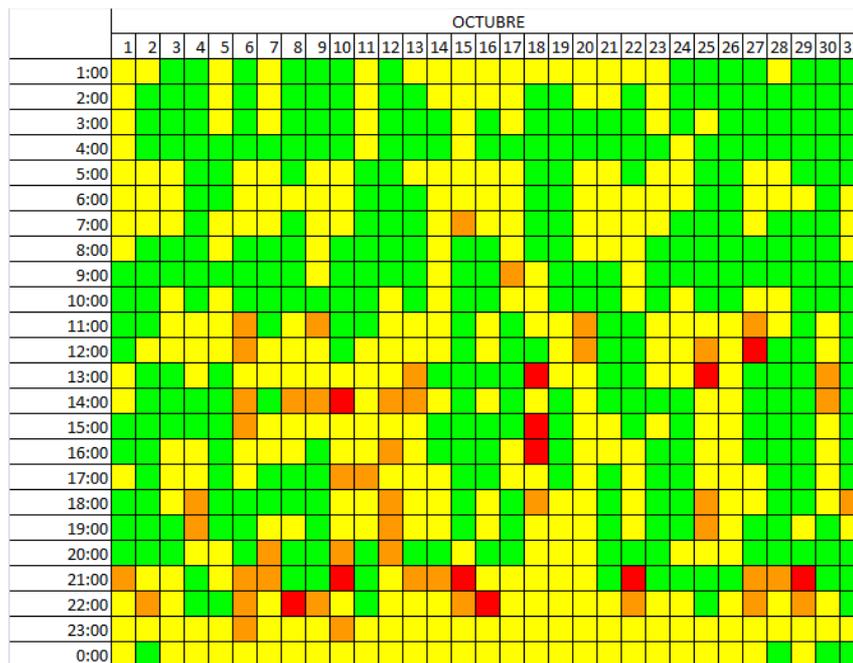


Figura 4. 6. Consumos horarios Octubre V10.

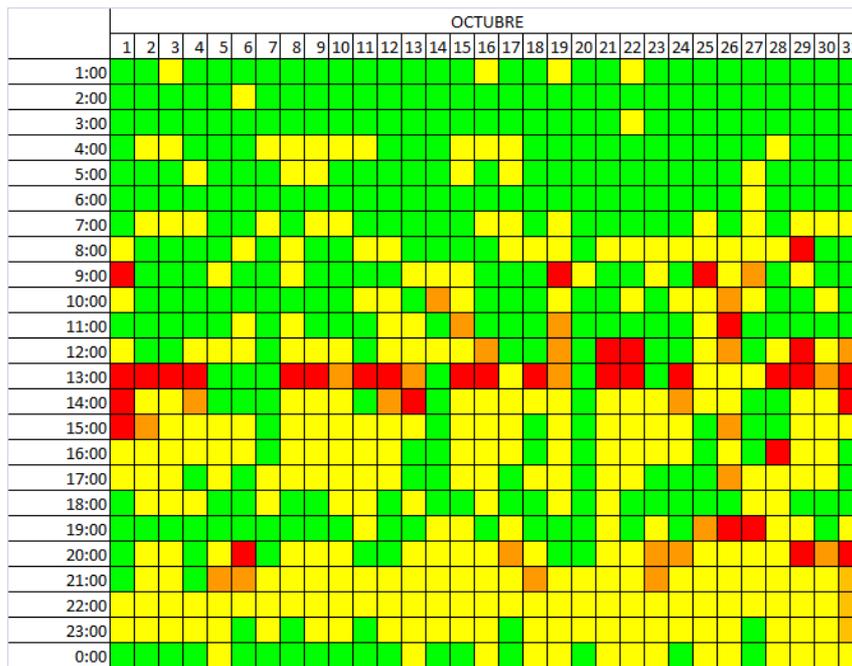


Figura 4. 7. Consumos horarios Octubre V20.

Pero, ¿se puede obtener un perfil tipo para las viviendas? Para ello se ha hecho uso de una herramienta propia del Grupo de Termotecnia de la Universidad de Sevilla creada por Laura Romero, estudiante de Doctorado en dicho Grupo, que calcula los perfiles de consumo para vivienda a partir de cuatro requisitos modificables:

- El tipo de vivienda: si es una vivienda unifamiliar o en bloque.
- La zona climática en el que se encuentra situado: Mediterráneo, Continental, Atlántico Norte o España.
- El mes en el que se quiere obtener el perfil, o si se quiere un perfil anual.
- El tipo de cocina: si eléctrica o no.

Para la realización de esta herramienta, los consumos totales anuales para cocina, iluminación y electrodomésticos han sido obtenidos a través del proyecto SPAHOUSEC. Para las zonas climáticas de Atlántico Norte, Continental, Mediterráneo y España, y diferenciando entre el tipo de vivienda de tipo bloque y unifamiliar. No se han tenido en cuenta los consumos de climatización (calefacción, refrigeración ni ACS).

Se ha recurrido a las curvas procedentes del proyecto EURECO y del proyecto SPAHOUSEC para la obtención de los perfiles de consumo diarios de cada tipo de electrodoméstico. En caso de tener dichas curvas en ambos proyectos, se han utilizado los del proyecto SPAHOUSEC por considerarse más adecuados a España.

En función de estos datos, se han calculado los porcentajes de aportación de cada uso o electrodoméstico para cada día y para cada hora, que será distinto para cada zona, tipo de vivienda y mes del año.

Con ello se obtiene, para el caso de este proyecto, el perfil de consumo de una vivienda en bloque, situada en una zona de clima Mediterráneo, con la cocina eléctrica como sería el caso de ambos pisos, durante el mes de Octubre, tendría la siguiente forma (Figura 4.8):

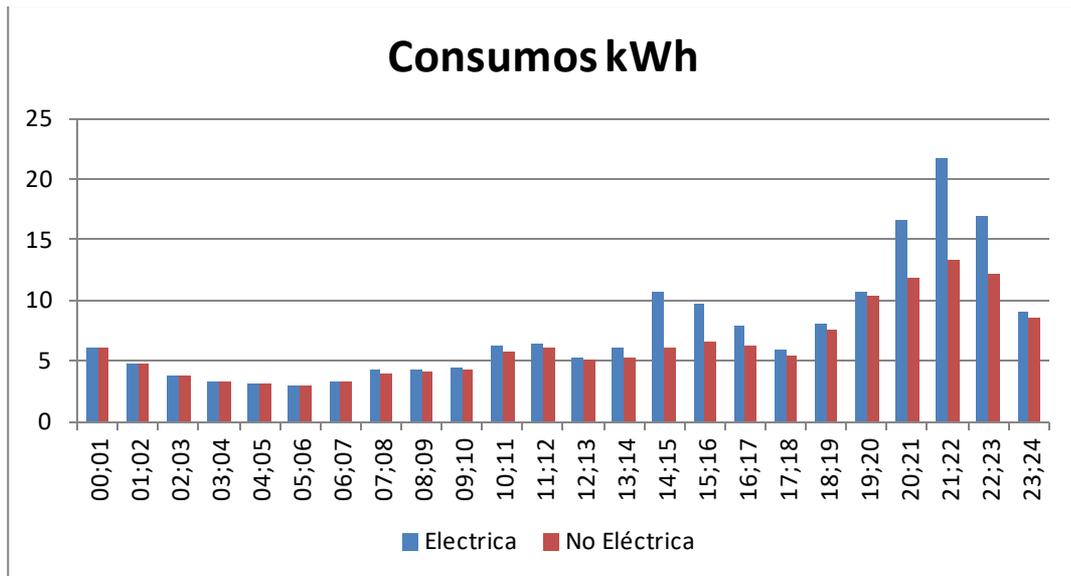


Figura 4. 8. Perfiles de consumo.

Las viviendas que se van a analizar en este proyecto no todas poseen cocinas eléctricas, es por ello que en la Figura 4.8 también se ha representado este otro tipo comprobando que, como cabe pensar, que el piso posea un tipo u otro de cocina solo afecta a las horas en las que se suele hacer uso de ellas, es decir, entre las 14 y 16 horas y las 21 y 23 horas.

Puede observarse que dicho perfil no coincide con los reales obtenidos de las mediciones (Figura 4.9). Se ve que no siguen un patrón fijo, si no que cada día tiene el máximo en una hora diferente. Esto fundamenta el hecho de que para el sector doméstico, esta vía de cálculo no es la más adecuada. Es por ello que en este proyecto se realiza el modelo de temperatura interior, utilizando la diferencia entre el modelo y la realidad para estimar los consumos.

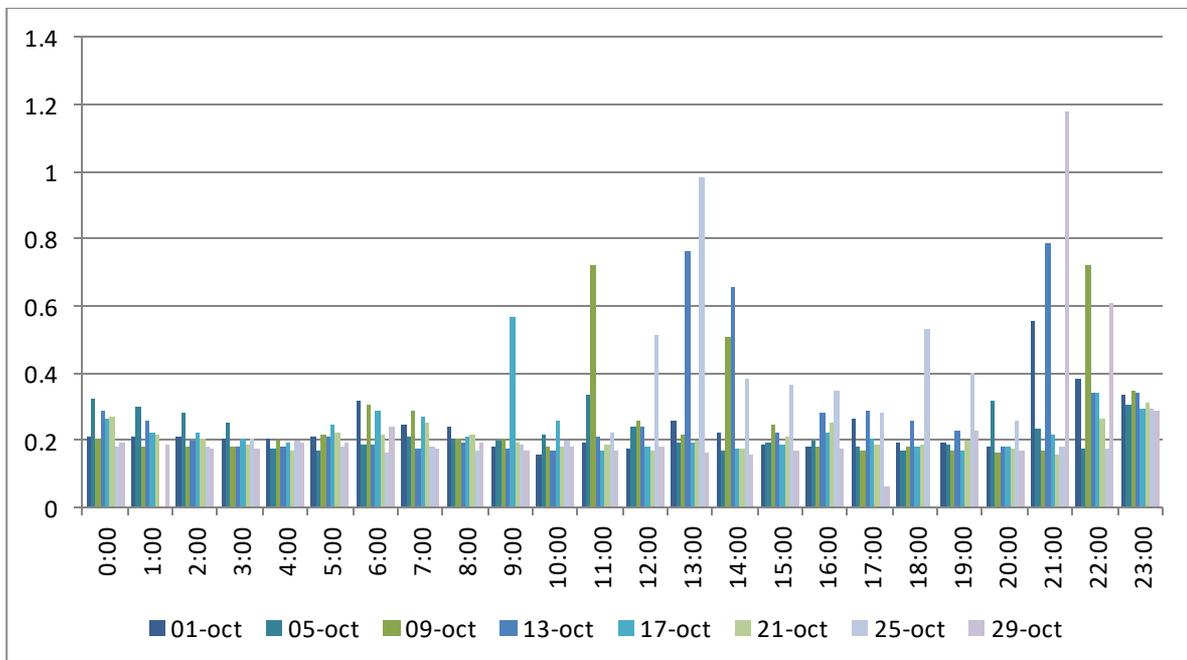


Figura 4. 9. Consumo real días Octubre V10.

Aun así, tener los datos de consumo es muy útil para determinar el periodo de no climatización como se expuso en el Apartado 2.3. En la Figura 4.10 puede observarse cómo los meses de invierno, es decir, desde Diciembre a Marzo principalmente, los consumos son mayores debido al uso de estufas, calefactores o equipos

similares. También se ve que el mes durante el mes de Octubre, así como en los días finales de Septiembre y los primeros de Noviembre, el consumo es menor.

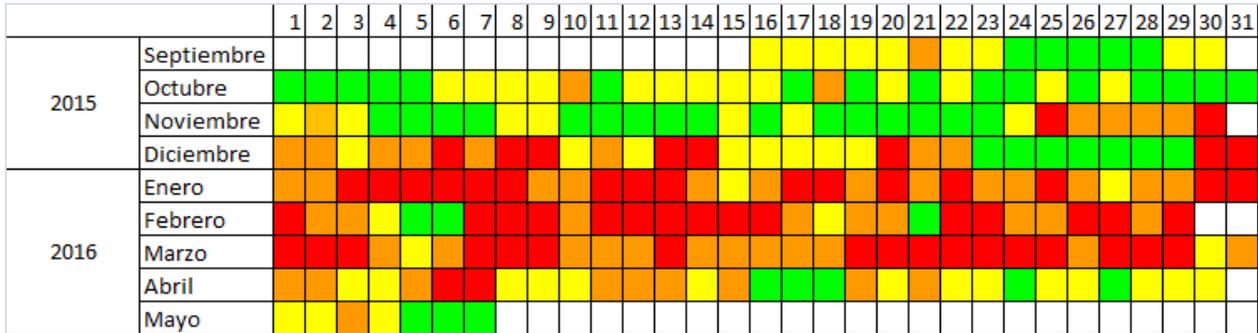


Figura 4. 10. Consumos diarios V10.

Existe una problemática al dibujar el mapa de colores de los consumos y es ¿qué valores se toman como límite? Para ello debería realizarse un estudio estadístico, pero dicho estudio se sale del ámbito de este proyecto. En este caso concretamente se han utilizado los percentiles recogidos en la Tabla 4.2.

< PER 25	5.84725
PER 25<C<PER 50	7.643
PRE 50<C<PER 75	10.444
C> PER 75	22.922

Tabla 4. 2. Percentiles.

Este hecho se ve con mayor claridad en el gráfico representado en la Figura 4.11. Ahí se aprecia cómo en los meses antes mencionados, el consumo diario está en torno a 6 kWh al día llegando éste a ser incluso 3 veces mayor en los meses de la estación invernal.

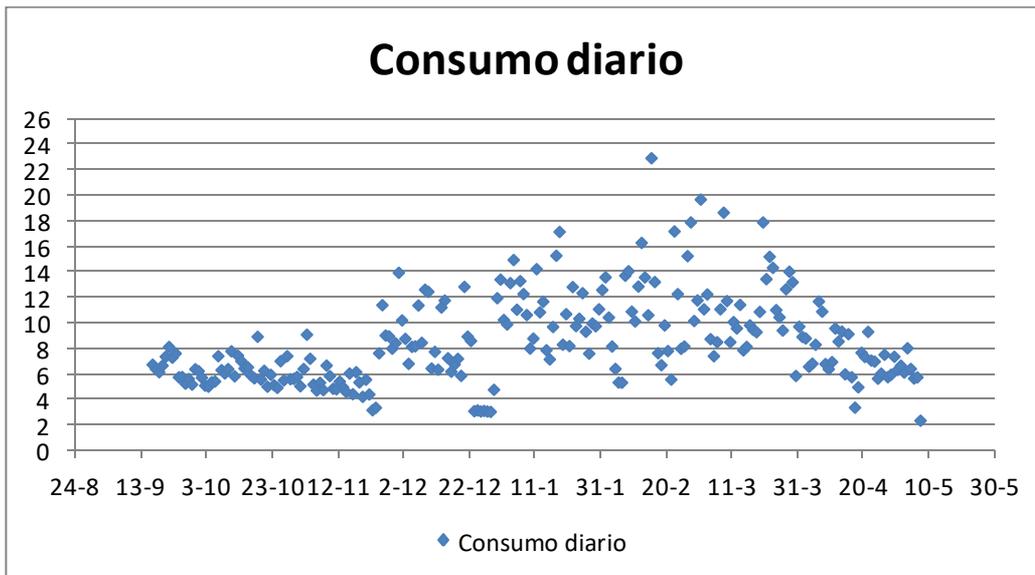


Figura 4. 11. Consumos diarios V10.

Estos resultados unidos a los obtenidos por la simulación del edificio llevan a tomar la decisión de que el

conjunto de días que comprende desde el 15 de Septiembre al 15 de Noviembre son los que se tomarán como estación intermedia.

### 4.4. Líneas Base

Una vez determinada la época de no climatización, se procede a determinar el modelo de temperatura interior, es decir, la Etapa 3 del protocolo. En este apartado, se va tanto a establecer el número óptimo de coeficientes como a verificar, una vez obtenida la línea base, que ésta es válida. Para ello se va a analizar lo que sucede con la vivienda V11 por simplicidad para el presente documento. Cabe decir que esta vivienda posee la misma estación intermedia que la obtenida para la vivienda V10 en el apartado anterior.

#### 4.3.1. Determinación del número de coeficientes

Para poder determinar el número tanto de numeradores como de denominadores que son necesarios, se necesitan dos cosas: tener una ley solar y los datos de temperatura interior, temperatura exterior y radiación en base diaria.

La ley solar se calculó en el apartado 4.2.1 y para la vivienda que se está analizando tiene la siguiente expresión:

$$L_{AS} = \frac{3.46 * 10^{-1} + 5.04 * 10^{-2}d - 1.16 * 10^{-3}d^2 + 1.09 * 10^{-5}d^3 - 4.92 * 10^{-8}d^4 + 1.06 * 10^{-10}d^5 - 8.70 * 10^{-14}d^6}{5.04805}$$

Ecuación 4. 3. Ley solar V11.

Los valores obtenidos de ésta fórmula son unos factores correctores que multiplican a la radiación solar.

Se está ahora en condiciones de obtener el número de coeficientes necesarios. Por ejemplo para dos coeficientes en el numerador y ningún denominador, la línea que resulta sería la representada en la Figura 4.11

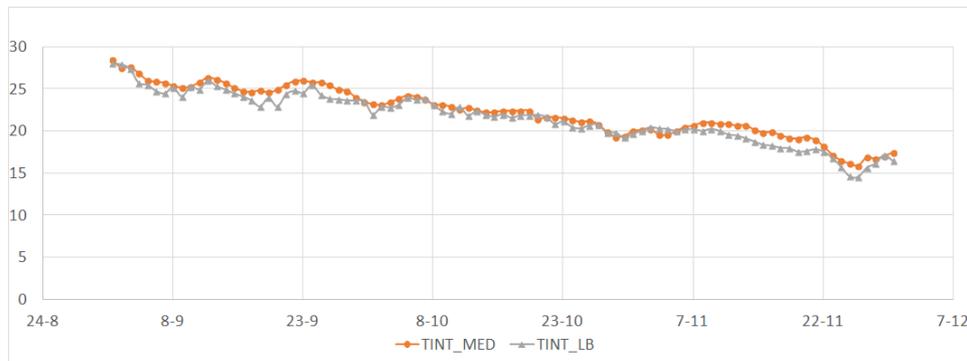


Figura 4. 12. Prueba modelo.

Como puede verse, la temperatura medida y la de la línea base no se ajusta lo suficiente. Por ello se pasa a aumentar el número de coeficientes.

Finalmente, se consigue un ajuste óptimo con cuatro numeradores y un denominador. En la siguiente figura se muestra como durante los días que son de no climatización, la línea se ajusta lo deseado

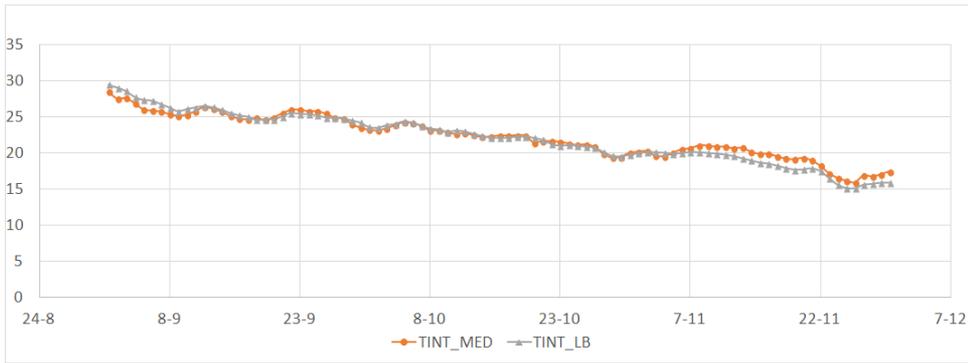


Figura 4. 13. Modelo final estación intermedia.

**4.4.2. Verificación**

Una vez realizado el modelo se debe verificar. Para verificar que este modelo sea válido se ha de tomar otra época donde no se haya hecho uso de algún sistema de HVAC y que no sea la tomada para realizar el modelo. Por ejemplo, para la época de Abril-Mayo-Junio resulta:

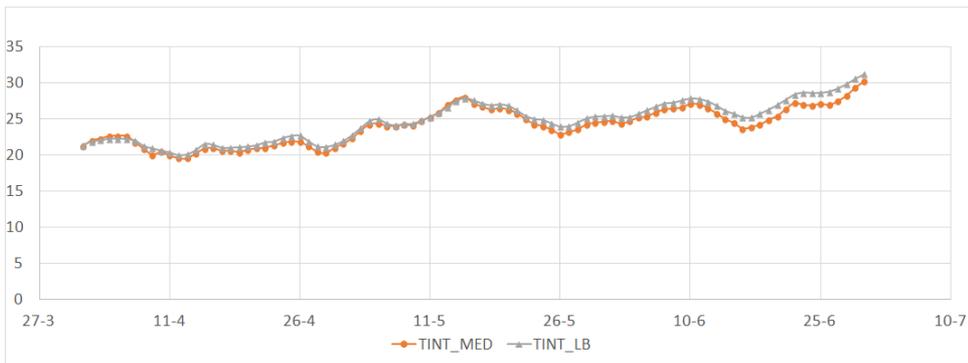


Figura 4. 14. Verificación modelo.

Como se aprecia el ajuste es bastante bueno con lo que se puede decir que el modelo es válido. Si ahora la línea base se aplica el modelo al resto del año se obtiene la línea representada en gris en la Figura 4.13. Durante las épocas de invierno y verano se ven diferencias entre los datos medidos y los obtenidos por la línea base. Esto se debe al uso de algún tipo de acondicionamiento, ya sea calefactor o aire acondicionado.

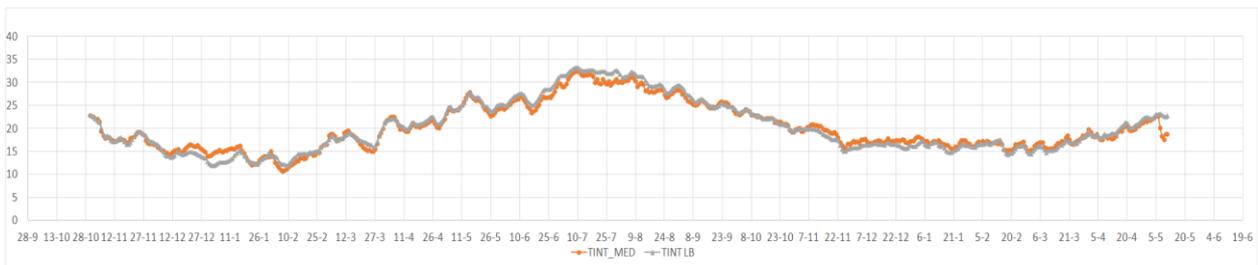


Figura 4. 15. Línea base anual vs datos medidos.

Si el protocolo se aplica al resto de viviendas de las que se tienen datos suficientes como para poder calcular estos modelos, se está en condiciones de realizar un estudio comparativo entre ellas.

### 4.5. Estudios comparativos

En este epígrafe se usa la línea base para realizar una comparativa entre las 20 viviendas a análisis. Este ranking se lleva a cabo a través de dos conjuntos de parámetros: por un lado los referidos a los estudios de confort y por otro los resultantes de la simulación.

En primer lugar de la simulación se obtiene el valor del coeficiente global de transferencia (UA) sin efecto de puentes térmicos ni de las infiltraciones y además el UA global en el que sí se tienen en cuenta estos efectos.

	V15 B6-1A	V14 B6-2B	V21 B6-3B	V09 B6-4A	V10 B6-4B	V11 B6-5A	V22 B6-5B	V19 B7-1D	V20 B7-2A	V23 B7-3A	V07 B7-5D	V03 B8-1C	V29 B8-1D	V25 B8-2B	V04 B8-2D	V02 B8-4B	V06 B8-5C	V16 B9-2B	V17 B9-3A	V18 B9-5B
área (m2)	65.23	68.85	68.85	68.38	68.38	68.38	68.85	63.62	66.88	66.88	67.35	63.07	63.08	64.36	66.81	64.36	63.07	64.34	64.32	68.08
UA sin PT sin Vent (W/K)	53.42	61.40	61.46	61.06	61.43	94.13	94.88	56.56	73.84	72.86	108.97	52.56	66.90	72.20	73.06	72.17	96.71	56.82	87.45	53.29
UA global (W/K)	79.03	91.51	91.79	91.00	91.73	124.90	126.08	78.83	84.59	83.17	122.32	74.55	74.52	82.28	83.71	82.28	109.06	64.23	98.69	60.49
Área de captación solar (m2)																				
Enero	2.49	4.04	4.01	3.51	3.90	4.36	4.87	2.45	2.84	2.88	3.91	1.06	2.23	1.17	2.71	1.27	1.84	1.32	1.92	1.23
Febrero	3.14	4.02	4.00	4.48	3.88	5.54	4.83	2.17	2.54	2.58	3.60	1.11	1.97	1.22	2.44	1.32	1.87	1.33	1.95	1.28
Marzo	2.38	3.34	3.32	3.48	3.25	4.39	4.12	1.94	2.45	2.52	3.29	1.23	1.76	1.36	2.15	1.43	1.95	1.71	2.44	1.66
Abril	2.04	2.66	2.65	3.05	2.62	3.90	3.40	1.57	2.08	2.15	2.79	1.37	1.42	1.52	1.76	1.56	2.08	1.77	2.55	1.73
Mayo	1.90	2.50	2.51	2.89	2.50	3.76	3.29	1.51	2.05	2.14	2.78	1.54	1.37	1.71	1.71	1.73	2.27	2.05	2.96	1.97
Junio	2.38	2.74	2.75	3.71	2.75	4.75	3.61	1.63	2.17	2.25	3.02	2.41	1.49	2.70	1.87	2.67	3.35	2.18	3.25	2.09
Julio	2.65	3.08	3.08	4.12	3.07	5.23	3.99	1.79	2.49	2.60	3.29	2.61	1.64	2.92	2.07	2.87	3.55	2.83	4.13	2.67
Agosto	2.41	3.03	3.02	3.61	2.98	4.55	3.82	1.83	2.33	2.39	3.18	1.96	1.68	2.17	2.08	2.15	2.71	1.82	2.71	1.70
Septiembre	2.68	3.39	3.37	3.92	3.30	4.91	4.17	1.98	2.45	2.52	3.36	1.67	1.80	1.85	2.23	1.87	2.41	1.66	2.47	1.57
Octubre	2.83	3.81	3.78	4.05	3.68	5.03	4.59	2.17	2.59	2.65	3.59	1.31	1.98	1.45	2.44	1.51	2.03	1.48	2.17	1.39
Noviembre	2.74	4.52	4.49	3.90	4.35	4.79	5.39	2.71	3.17	3.22	4.26	1.16	2.47	1.27	2.98	1.36	1.94	1.56	2.24	1.44
Diciembre	3.29	4.72	4.69	4.64	4.54	5.69	5.60	2.67	3.06	3.10	4.25	1.07	2.44	1.17	2.99	1.27	1.87	1.38	2.00	1.26

Tabla 4. 3. Parámetros de las viviendas.

Ahora bien, a partir de estos parámetros se realiza un ranking asumiendo las condiciones más favorables, a igualdad de clima: menor UA y mayor área solar (calefacción), y menor área solar (refrigeración). Se consideran enero, febrero, marzo, noviembre y diciembre meses de calefacción; y de junio a septiembre meses de refrigeración.

	V15 B6-1A	V14 B6-2B	V21 B6-3B	V09 B6-4A	V10 B6-4B	V11 B6-5A	V22 B6-5B	V19 B7-1D	V20 B7-2A	V23 B7-3A	V07 B7-5D	V03 B8-1C	V29 B8-1D	V25 B8-2B	V04 B8-2D	V02 B8-4B	V06 B8-5C	V16 B9-2B	V17 B9-3A	V18 B9-5B
área (m2)	65.23	68.85	68.85	68.38	68.38	68.38	68.85	63.62	66.88	66.88	67.35	63.07	63.08	64.36	66.81	64.36	63.07	64.34	64.32	68.08
UA (sin PT ni Vent)	53.42	61.40	61.46	61.06	61.43	94.13	94.88	56.56	73.84	72.86	108.97	52.56	66.90	72.20	73.06	72.17	96.71	56.82	87.45	53.29
UA global (W/K)	79.03	91.51	91.79	91.00	91.73	124.90	126.08	78.83	84.59	83.17	122.32	74.55	74.52	82.28	83.71	82.28	109.06	64.23	98.69	60.49
AS (invierno) m2	2.81	4.13	4.10	4.00	3.99	4.95	4.96	2.39	2.81	2.86	3.86	1.12	2.18	1.24	2.65	1.33	1.89	1.46	2.11	1.37
AS (verano) m2	0.89	0.80	0.81	0.95	0.82	0.97	0.85	0.83	0.91	0.92	0.90	1.65	0.84	1.67	0.85	1.58	1.48	1.43	1.45	1.45

Tabla 4. 4. Áreas y UA de cada vivienda.

En invierno la clasificación quedaría (ver Tabla 4.4):

	UA (W/K)	AS (m2)
V10 B6-4B	1	2
V22 B6-5B	1	2
V18 B9-5B	1	2
V23 B7-3A	1	1
V11 B6-5A	1	1
V25 B8-2B	1	1
V09 B6-4A	1	1
V16 B9-2B	2	3
V04 B8-2D	2	3
V15 B6-1A	2	2
V29 B8-1D	2	2
V07 B7-5D	2	2
V21 B6-3B	2	1
V19 B7-1D	3	3
V02 B8-4B	3	3
V06 B8-5C	3	3
V14 B6-2B	3	3
V20 B7-2A	3	3
V03 B8-1C	3	1
V17 B9-3A	3	1

Tabla 4. 5. Clasificación en invierno.

Dónde se han establecido 3 percentiles para dividir en grupos las viviendas por cada parámetro característicos. Y después se ha establecido un ranking de grupos asumiendo mejores las viviendas con menor UA y mayor área solar.

En verano, simplemente se analiza el área solar de la vivienda (Tabla 4.6):

Verano	AS (m2)
V22 B6-5B	1
V18 B9-5B	1
V11 B6-5A	1
V09 B6-4A	1
V16 B9-2B	1
V21 B6-3B	1
V02 B8-4B	1
V10 B6-4B	2
V23 B7-3A	2
V25 B8-2B	2
V04 B8-2D	2
V15 B6-1A	2
V29 B8-1D	2
V07 B7-5D	3
V19 B7-1D	3
V06 B8-5C	3
V14 B6-2B	3
V20 B7-2A	3
V03 B8-1C	3
V17 B9-3A	3

Tabla 4. 6. Clasificación área solar en verano.

Esta clasificación permite, de una forma orientativa, conocer cuáles son las viviendas “mejores” y “peores” en cada uno de los regímenes. Ahora bien, este método no permite conocer el efecto del usuario y tampoco, al no estar calibrada la simulación, los parámetros característicos presentan bastante incertidumbre.

Por este motivo se plantea la explotación de la línea base para realizar una normalización climática y del usuario, analizando las variables de confort que anteriormente se han definido. Para ello se explotarán las 20 líneas base obtenidas para cada vivienda, devolviendo la temperatura interior en condiciones de no operación del sistema de acondicionamiento.

Los resultados obtenidos son la integral de grados día de disconfort para las consignas 20°C (calefacción) y 25°C (refrigeración) (Comfort I), y esta misma integral ponderada por el porcentaje de personas insatisfechas según el método de Fanger (Comfort IPF).

	LB-2014		LB-2015		DM-2014		DM-2015	
	Comfort I	Comfort IPF						
V17 B9-3A	441.99	330.78	305.46	120.69	61.73	8.30	38.17	3.61
V16 B9-2B	292.45	156.73	169.79	35.20	225.31	93.59	128.77	30.65
V03 B8-1C	449.45	332.35	333.90	122.90	225.94	72.38	78.15	8.70
V09 B6-4A	578.23	486.02	470.14	284.50	138.04	34.07	65.94	7.37
V18 B9-5B	390.90	275.92	269.05	71.33	114.13	22.40	104.44	12.52
V15 B6-1A	497.46	398.37	376.15	179.51	268.60	123.12	136.96	28.97
V07 B7-5D	522.84	438.74	366.91	170.63	207.56	91.60	228.65	72.20
V25 B8-2B	415.76	268.57	310.23	101.86	477.88	355.62	157.52	24.40
V20 B7-2A	434.91	325.96	348.56	125.87	376.56	243.94	286.73	86.08
V23 B7-3A	425.70	301.15	321.41	111.35	427.73	302.23	327.31	129.73
V29 B8-1D	278.48	120.27	175.52	23.41	447.06	348.97	215.81	67.35
V06 B8-5C	894.11	840.88	719.80	666.70	390.85	259.87	184.69	49.31
V11 B6-5A	622.99	549.01	497.56	327.68	587.08	496.76	393.63	191.32
V22 B6-5B	641.12	568.49	493.62	330.16	414.44	292.17	226.46	63.62
V04 B8-2D	711.59	639.36	579.61	451.58	471.21	363.86	319.13	123.05
V02 B8-4B	698.22	630.81	549.71	408.58	395.77	242.10	186.83	45.51
V19 B7-1D	700.96	632.03	598.54	462.58	729.71	663.24	434.25	235.34
V21 B6-3B	860.99	810.48	706.34	641.31	524.75	418.79	427.13	247.44
V14 B6-2B	934.79	890.24	776.94	728.64	633.33	562.37	486.81	325.15
V10 B6-4B	622.12	541.85	514.85	347.06	556.75	468.10	317.06	133.99

Tabla 4. 7.Comparación estudios de confort.

Las siglas LB indican los valores obtenidos ejecutando la línea base para el año que aparece a continuación. A su vez, DM indica los valores medidos. Se puede ver como existen diferencias entre el confort I obtenido de ambas maneras. Esta diferencia se debe al efecto del usuario, es decir, en las viviendas sin sistema de acondicionamiento la diferencia debería ser menor. Por ejemplo la vivienda 16 y 19 no disponen de sistema de acondicionamiento.

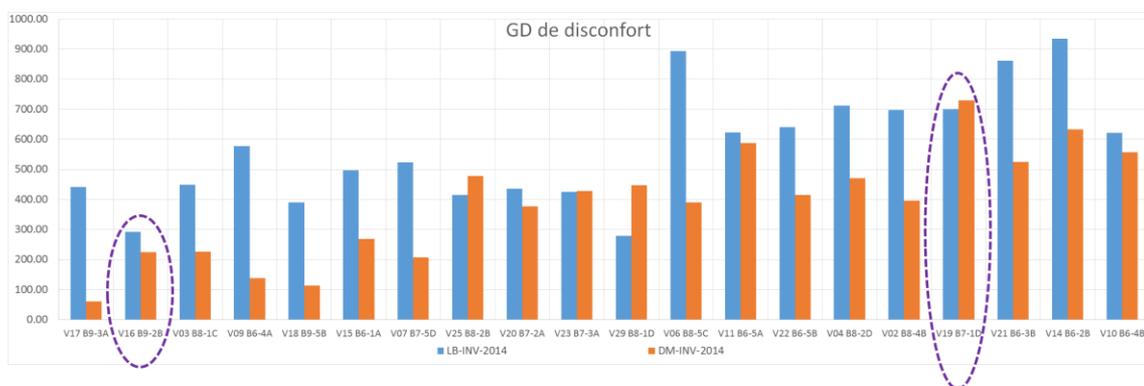


Figura 4. 16. Gráfica comparación estudios de confort.

Hay que comentar que la diferencia entre años demanda la necesidad de establecer una normalización climática, o bien un año de referencia. A su vez, 2015 demuestra ser un año con un invierno menos acusado. La siguiente gráfica (Figura 4.17) muestra la distribución del tanto por uno de viviendas que entra en los cuatro grupos sobre los que se divide la muestra.

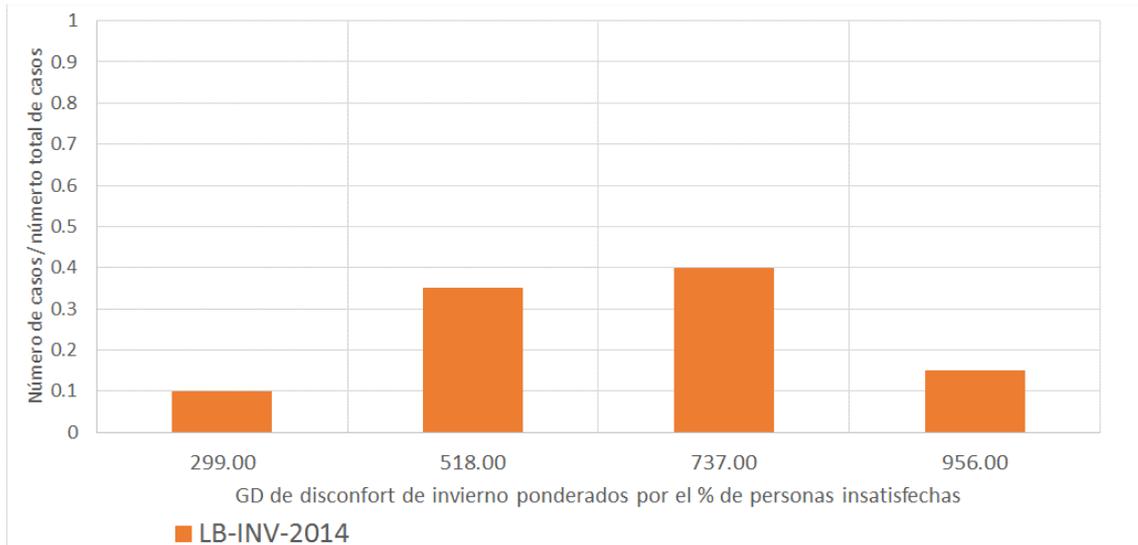


Figura 4. 17. Gráfico distribución de viviendas.

Ahora bien, si a partir de los valores de confort IPF se realiza una clasificación siguiendo las directrices anteriores, es decir, usando 3 percentiles. Sucede que las viviendas quedan ordenadas de la siguiente forma:

	LB-2014			
	Grupo	Limite sup	limite inf	0
V17 B9-3A	1	124	0	120.69
V16 B9-2B	1	124	0	35.20
V03 B8-1C	1	124	0	122.90
V18 B9-5B	1	124	0	71.33
V25 B8-2B	1	124	0	101.86
V23 B7-3A	1	124	0	111.35
V29 B8-1D	1	124	0	23.41
V09 B6-4A	2	342	124	284.50
V15 B6-1A	2	342	124	179.51
V07 B7-5D	2	342	124	170.63
V20 B7-2A	2	342	124	125.87
V11 B6-5A	2	342	124	327.68
V22 B6-5B	2	342	124	330.16
V06 B8-5C	3	729	342	666.70
V04 B8-2D	3	729	342	451.58
V02 B8-4B	3	729	342	408.58
V19 B7-1D	3	729	342	462.58
V21 B6-3B	3	729	342	641.31
V14 B6-2B	3	729	342	728.64
V10 B6-4B	3	729	342	347.06

Tabla 4. 8. Ranking según IPF.

Esta clasificación es diferente a la obtenida a partir de los parámetros característicos, pero esta ofrecería una mayor certidumbre en lo referido a las características de la vivienda. Esto es así porque la temperatura es una variable resultante limpia de las excitaciones climáticas y de la operación de la vivienda.

## 5 CONCLUSIONES Y LÍNEAS FUTURAS

---

### 5.1. Conclusiones

Se puede concluir que el protocolo realizado y seguido durante los meses de trabajo del presente proyecto es válido. Así mismo, también es correcto el modelo de temperatura interior obtenido a partir del mismo. Esto se debe a que ha sido aplicado satisfactoriamente a un conjunto de viviendas situadas en la ciudad de Granada.

Además, se han confirmado que los datos mínimos necesarios para la correcta elaboración del modelo son los expuestos, es decir:

- La temperatura interior de la vivienda,
- Las condiciones climáticas en cuanto a temperatura exterior y radiación incidente,
- Datos de consumo,
- Y un modelo de la vivienda compatible con la Herramienta Unificada Lider-Calener.

Además se ha comprobado que son necesarios dos años de mediciones de datos, un año para la realización del modelo y el otro para su verificación. Dentro del entorno de los datos se ha demostrado que el salón es una estancia representativa de la vivienda, reduciéndose así, el número de medidas a realizar.

De igual forma, se ha calculado una ley solar que es clave en el desarrollo de las líneas base, siendo ésta un factor corrector de la radiación que hace que el modelo obtenido se ajuste más fielmente a la realidad.

Finalmente, se ha corroborado la utilidad que el modelo obtenido tiene haciendo una comparativa entre las diferentes viviendas que se han analizado, viendo así la importancia de realizar este tipo de proyectos en el sector residencial.

### 5.2. Líneas futuras

Para proyectos futuros sería beneficioso poseer datos anteriores y posteriores a la rehabilitación de las viviendas. Con ello se podría establecer el potencial de las mejoras que se han obtenido gracias a dicha rehabilitación así como el ahorro que éstas han provocado.

Igualmente sería necesaria una monitorización útil, es decir, una monitorización que sea más eficiente e inteligente, así como, saber con certeza los días que se ha utilizado o no el sistema de climatización, teniendo así controlada la época intermedia.

Otro aspecto importante es tener valores de consumo de todo el año, ya que así pueden determinarse con mayor claridad los meses que se van a tomar como meses de no acondicionamiento.



## 6 REFERENCIAS

- [1] *Eficiencia energética en viviendas*, 2007. , [s.l.]: EnerBuilding.
- [2] Karacsonyi, Jorge G, PANORAMA ENERGÉTICO MUNDIAL UN DESAFÍO PARA LA INGENIERÍA.
- [3] Álvarez, S. Conferencia sobre Eficiencia Energética en Edificios, medidas de ahorros y pobreza energética. Departamento de Ingeniería Energética, Grupo de Termotecnia de la Universidad de Sevilla (TMT–US).
- [4] Vivienda Saludable: Reto del Milenio en los Asentamientos Precarios de América Latina y el Caribe Guía para las Autoridades Nacionales y Locales. Autores: CEPAL, OMS, UN-HABITAT
- [5] Castells, Xavier Elías, 2012, *La vivienda y el confort*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.
- [6] *H2020*, 2014. , Madrid: Centro para el Desarrollo Tecnológico Industrial.
- [7] *Comunicación de la Comisión al Consejo, al Parlamento Europeo, al Comité Económico y Social y al Comité de las Regiones. Estrategia de la UE relativa a la calefacción y la refrigeración*, 2016. , Bruselas.
- [8] *Manual de eficiencia energética 2007*, 2007. , Madrid: EOI Escuela de Negocios.
- [9] B. Calderón, “Obtención de Líneas Base: Aplicación a Edificios Sanitarios” 2016.
- [10] M. Pavón, “Obtención de Líneas Base: Aplicación a Edificios de Oficinas y Sedes Judiciales” 2016.
- [11] ISO, “Energy management systems. Requirements with guidance for use (ISO 50001:2011),” *UNE-EN ISO 50001*. 2011.
- [12] ISO, “Energy audits”, *Draft BS ISO 50002*. 2013.
- [13] ISO, “Energy management systems – Requirements for bodies providing audit and certification of energy management systems”, *ISO 50003:2014(E)*. 2014.
- [14] ISO, “Energy management systems – Guidance for the implementation, maintenance and improvement of an energy management system”, *ISO 50004:2014(E)*. 2014.
- [15] ISO, “Energy management systems – Measuring energy performance using energy baselines (EnB) and energy performance indicators (EnPI) – General principles and guidance”, *ISO 50006:2014(E)*. 2014.
- [16] ISO, “Energy management systems – Measurement and verification of energy performance of organizations – General principles and guidance”, *ISO 50015:2014 (E)*. 2014.
- [17] DEXMA, “ISO 50001. ¿Qué es y cómo la implemento en mi empresa?”, *ISO 50001*. 2016.
- [18] Home - Efficiency Valuation Organization (EVO), 2016. *Evo-world.org* [online]
- [19] EVO, “International Performance Measurement and Verification Protocol,” 1999.
- [20] DEXMA: Software de Gestión Energética | DEXCell Energy Manager, 2016. *DEXMA* [online]
- [21] Carretero Peña, Antonio and García Sánchez, Juan Manuel, 2012, *Gestión de la eficiencia energética*. [Madrid]: AENOR.
- [22] *M&V Guidelines*, 2015. , Washington, D.C. : United States. Dept. of Energy. Office of Energy Efficiency and Renewable Energy.
- [23] J. Sánchez Ramos, “Metodología Aplicada de Caracterización Térmica Inversa para Edificios”, 2015.
- [24] Houghten FC, Yaglou CP (1923b) Determining equal comfort lines. *J Am Soc Heat Vent Engrs* 29:165–76.
- [25] UNE-EN ISO 7730:2006. Ergonomía del ambiente térmico. Determinación analítica e interpretación del bienestar térmico mediante el cálculo de los índices PMV y PPD y los criterios de bienestar térmico local. (ISO 7730:2005).
- [26] Thermal adaptation in the built environment: a literature review. *Energy and buildings*, 27(1), pp.83 [http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf\\_files/Zhang2006\\_ThermalBiologyPart1.pdf](http://www.cbe.berkeley.edu/research/pdf_files/Zhang2006_ThermalBiologyPart1.pdf)

- [27] Developing an Adaptive Model of Thermal Comfort and Preference. ASHRAE Transactions, 104(March), pp.145. <http://escholarship.org/uc/item/4qg2p9c6.pdf>.
- [28] SCAT: Smart Controls and Thermal Comfort, FP4-NNE-JOULE C, 1998-2000. [http://cordis.europa.eu/project/rcn/38904\\_en.html](http://cordis.europa.eu/project/rcn/38904_en.html)
- [29] Developing an adaptative control algorithm for Europe; McCartney K., Nicol, F.; Energy and Building 34 (2002) 623-635.
- [30] Derivations of the adaptative equations for termal confort in free-running Buildings in European Standrad EN15251; Nicol F., Humphreys M.; Building and Environment 45 (2010) 11-17.
- [31] Adaptative Thermal Comfort; Nicol F., Humphreys M., Roaf S.; Earthscan (Routledge) 2012
- [32]
- [33] Almanjáyay en Familia (ALFA), 2016. *Almanjáyay en Familia* [online]
- [34] Clima - Provincia de Granada, 2016. *Andalucia-web.net* [online]
- [35] *Código técnico de la edificación (CTE)*, 2006. , Madrid: Ministerio de la Vivienda; Boletín Oficial del Estado.
- [36] Habitar, 2016. *Juntadeandalucia.es* [online]
- [37] Datos obtenidos de la Consejería de Fomento y Vivienda, a través de la Agencia de Vivienda y Rehabilitación de Andalucía (AVRA).
- [38] ESTACIONES AGROCLIMÁTICAS, 2016. *Juntadeandalucia.es* [online],
- [39] 2016. *Eportal.magrama.gob.es* [online]



# 7 ANEXOS

---

## 7.1. Verificación de los datos

VIVIENDA	TIPO	CODIGO EQUIPO	LUGAR	FECHA INICIO	FECHA FIN	OBSERVACIONES
1ªA (V015)	Monitor energía			14/09/2015	10/05/2016	Archivo CONSUMO_V15
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1178	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1178_SALON
	Termohigrometro	EE1491	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1491_MATRIMONIO
2ªB (V014)	Termohigrometro	EE1210	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1210_DORMITORIO
	Monitor energía			15/09/2015	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V14
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1179	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1179_SALON
3ªB (V021)	Termohigrometro	EE1230	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1230_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1434	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1434_DORMITORIO
	Monitor energía			14/09/2015	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V21
	Emisor					
4ªA (V09)	Termohigrometro	EE1229	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1229_SALON
	Termohigrometro	EE1123	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1123_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1249	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1249_DORMITORIO
	Monitor energía			16/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V09
4ªB (V010)	Emisor					
	Termohigrometro	EE1387	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1387_SALON
	Termohigrometro	EE1426	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1426_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1251	DORMITORIO	29/10/2014	09/07/2015	Datos solo hasta 2015 EE1251_DORMITORIO/ No tiene datos estaba retirado de la ventana
5ªA (V011)	Monitor energía			16/09/2015	07/05/2016	Archivo CONSUMO_V10/ Sin pilas
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1298	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1298_SALON
	Termohigrometro	EE1328	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1328_MATRIMONIO
5ªB (V022)	Termohigrometro	EE1319	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 08/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1319_DORMITORIO/ Encima del mueble junto a la ventana
	Monitor energía			14/11/2015	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V11/ Sin pilas hace 1 semana
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1586	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1586_SALON
5ªB (V022)	Termohigrometro	EE1536	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1536_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1352	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1352_DORMITORIO
	Monitor energía			16/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V22
	Emisor					
5ªB (V022)	Termohigrometro	EE1139	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1139_SALON
	Termohigrometro	EE1419	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1419_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1122	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1122_DORMITORIO

Tabla 7. 1. Bloque 6.

VIVIENDA	TIPO	CODIGO EQUIPO	LUGAR	FECHA INICIO	FECHA FIN	OBSERVACIONES
1ºD (V019)	Monitor energía			16/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V19
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1175	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1175_SALON
	Termohigrometro	EE1449	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1449_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1120	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 07/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1120_DORMITORIO
Termohigrometro	EE1633	EXTERIOR	29/10/2014	13/07/2015	Archivo EE1633_EXTERIOR	
2ªA (V020)	Monitor energía			14/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V20
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1576	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 10/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1576_SALON
	Termohigrometro	EE1193	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 10/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1193_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1146	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 10/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1146_DORMITORIO
2ªB (V026)	Monitor energía			16/12/2015	10/05/2016	Archivo CONSUMO_V26 / Sin pilas, empiezan los datos más tarde
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1427	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1427_SALON / Guardado en un cajón
	Termohigrometro	EE1499	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1499_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1228	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1228_DORMITORIO
2ºD (V012)	Monitor energía					Sin datos
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1334	SALON	29/10/2014	13/05/2016	Archivo EE1334_SALON / Desmontado en Julio
	Termohigrometro	EE1379	MATRIMONIO	29/10/2014	13/05/2016	Archivo EE1379_MATRIMONIO / Desmontado en Julio
	Termohigrometro	EE1154	DORMITORIO	29/10/2014	13/07/2015	Archivo EE1154_DORMITORIO / Desmontado en Julio
Termohigrometro	EE1173	EXTERIOR	29/10/2014	13/07/2015	Archivo EE1173_EXTERIOR / Desmontado en Julio	
3ªA (V023)	Monitor energía			15/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V23
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1195	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1195_SALON / Guardado en un cajón
	Termohigrometro	EE1544	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1544_MATRIMONIO / Guardado en un cajón
	Termohigrometro	EE1194	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Sin datos / Guardado en un cajón
4ªC (V024)	Monitor energía			13/09/2015	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V24
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1192	SALON	09/07/2015	09/05/2016	Archivo EE1192_SALON / Solo datos 2015-2016
	Termohigrometro	EE1539	MATRIMONIO	09/07/2015	09/05/2016	Archivo EE1539_MATRIMONIO / Solo datos 2015-2016
	Termohigrometro	EE1306	DORMITORIO	09/07/2015	09/05/2016	Archivo EE1306_DORMITORIO / Solo datos 2015-2016
Termohigrometro	EE1488	EXTERIOR			Sin datos, aunque según ellos deberán estar	
5ªA (V027)	Monitor energía					Sin datos
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1384	SALON	30/10/2014	09/07/2015	Archivo EE1384_SALON / Solo datos 2015-2016
	Termohigrometro	EE1440	MATRIMONIO	30/10/2014	09/07/2015	Archivo EE1440_MATRIMONIO / Solo datos 2015-2016
	Termohigrometro	EE1626	DORMITORIO	30/10/2014	09/07/2015	Archivo EE1626_DORMITORIO / Solo datos 2015-2016
5ªC (V013)	Monitor energía					Sin datos
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1131	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1131_SALON / Estantería
	Termohigrometro	EE1432	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1432_MATRIMONIO / En un cajón en la entrada
	Termohigrometro	EE1390	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Archivo EE1390_DORMITORIO / En un cajón en la entrada
5ºD (V07)	Monitor energía			14/09/2014	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V7
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1585	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1585_SALON / Estantería al lado de la ventana 1m
	Termohigrometro	EE1475	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1475_MATRIMONIO
	Termohigrometro	EE1643	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1643_DORMITORIO

Tabla 7. 2. Bloque 7.



VIVIENDA	TIPO	CODIGO EQUIPO	LUGAR	FECHA INICIO	FECHA FIN	OBSERVACIONES
2*B (V016)	Monitor energía			15/09/2015	16/11/2015	Archivo CONSUMO_V16 / Solo tiene datos de un par de meses / En una bolsa
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1450	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1450_SALON / En una bolsa
	Termohigrometro	EE1538	MATRIMONIO	29/10/2014	09/07/2015	Archivo EE1538_MATRIMONIO / No hay datos del 2016 / En una bolsa, en Julio estaba en un armario
3*A (V017)	Termohigrometro	EE1124	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1124_DORMITORIO / En una bolsa, en Julio estaba en un armario
	Monitor energía			15/09/2015	09/05/2016	Archivo CONSUMO_V17
	Emisor					
	Termohigrometro	EE1144	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1144_SALON / En una estantería
	Termohigrometro	EE1533	MATRIMONIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1533_MATRIMONIO / En la mesita de noche
4*A (V030)	Termohigrometro	EE1320	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1320_DORMITORIO / En una estantería
	Termohigrometro	EE1232	EXTERIOR	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1232_EXTERIOR / En una bolsa
	Monitor energía					No recuperado
	Emisor					
5*B (V018)	Termohigrometro	EE1408	SALON			No recuperado
	Termohigrometro	EE1627	MATRIMONIO			No recuperado
	Termohigrometro	EE1235	DORMITORIO			No recuperado
	Monitor energía			15/09/2015	06/05/2016	Archivo CONSUMO_V10
5*B (V018)	Emisor					
	Termohigrometro	EE1532	SALON	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1532_SALON
	Termohigrometro	EE1537	MATRIMONIO	29/10/2014	09/07/2015	Archivo EE1537_MATRIMONIO / No tiene datos de 2016 / No tiene datos
	Termohigrometro	EE1424	DORMITORIO	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1424_DORMITORIO / Quitado hace 1 mes

Tabla 7. 4. Bloque 9.

VIVIENDA	TIPO	CODIGO EQUIPO	LUGAR	FECHA INICIO	FECHA FIN	OBSERVACIONES
Bloque 7/ 1ºD (V019)	Termohigrometro	EE1633	EXTERIOR	29/10/2014	13/07/2015	Archivo EE1633_EXTERIOR
Bloque 7/ 2ºD (V012)	Termohigrometro	EE1173	EXTERIOR	29/10/2014	13/07/2015	Archivo EE1173_EXTERIOR / Desmontado en Julio
Bloque 7/ 4ºC (V024)	Termohigrometro	EE1488	EXTERIOR			Sin datos, aunque según ellos deberían estar
Bloque 9/ 3ªA (V017)	Termohigrometro	EE1232	EXTERIOR	29/10/2014	10/05/2016	Está dividido en 2 archivos en el día 09/07/2015, unidos en uno en el archivo EE1232_EXTERIOR / En una bolsa

Tabla 7. 5. Exteriores.

## 7.2. Análisis de datos

	Vivienda	Orientación	Tamaño	HVCA	ACS	Cocina	N Ocupantes	Fecha Inicio	Fecha Fin	2014	2015	2016	Observaciones
V04	B8-2D	SE	61.07	-	Eléctrico	Butano	4	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 16/04/2016
V06	B8-5C	NO	61.07	-	Butano	Butano	1	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 14/09/2015 hasta 09/05/2016
V11	B6-5A	SO	62.49	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	3	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 14/11/2015 hasta 09/05/2016
V14	B6-2B	SE	62.49	-	Gas ciudad	Gas ciudad	1	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 09/05/2016
V15	B6-1A	SO	62.49	Bomba de Calor	Butano	Vitrocerámica	2	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 14/09/2015
V19*	B7-1D	SE	61.07	-	Butano	Butano	5	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 16/09/2015 hasta 06/05/2016
V20	B7-2A	SE	62.48	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	4	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 14/09/2015 hasta 06/05/2016
V21	B6-3B	SE	62.49	Bomba de Calor	Gas Natural	Gas Natural	-	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 14/09/2015 hasta 09/05/2016
V22	B6-5B	SE	62.49	-	Butano	Butano	-	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 16/09/2015 hasta 06/05/2016
V02	B8-4B	NO	61.07	Aire Acondicionado	Gas	Vitrocerámica	5	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Lo devuelven en bolsas
V03	B8-1C	NO	61.07	Aire Acondicionado	Butano	Butano	3	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 09/05/2016 / Matr en mesita noche, Salon 2m del suelo
V07	B7-5D	SE	61.07	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	2	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Medidor Salón cerca ventana
V09	B6-4A	SO	62.49	Aire Acondicionado	Butano	Butano	-	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Falta Dormitorio / Consumo sólo desde 16/09/2015 hasta 06/05/2016
V10	B6-4B	SE	62.49	Bomba de Calor	Butano	Vitrocerámica	7	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 16/09/2015 hasta 07/05/2016 / Dormitorio medidor junto a la ventana
V16	B9-2B	NE/SE	53.28	-	Eléctrico	Butano	3	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	En bolsas
V17*	B9-3A	NE/NO	53.28	Aire Acondicionado	Butano	Butano	3	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 09/05/2016 / Salon y dorm en estantería, matr en mesa de noche
V18	B9-5B	NE/SE	53.28	Bomba de Calor	Eléctrico	Vitrocerámica	3	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 06/05/2016 / No hay datos de Matrimonio del 2016
V23	B7-3A	SE	62.48	-	Butano	Butano	2	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Todo cajón
V24*	B7-4C	NO	53.63	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	2	09/07/2015	09/05/2016	-	DESDE JULIO	HASTA MAYO	Sólo datos 2015-2016
V25	B8-2B	NO	61.07	Bomba de Calor	Gas	Gas	4	29/10/2014	10/05/2016	DESDE NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 16/09/2015 hasta 12/05/2016 No hay datos de Dormitorio
V27	B7-5A	SE	62.48	-	Butano	Vitrocerámica	3	30/10/2014	09/07/2015	DESDE NOVIEMBRE	HASTA JULIO	-	Sólo datos 2014-2015
V29	B8-1D	SE	61.07	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	1	18/11/2014	10/05/2016	DESDE MEDIO NOVIEMBRE	TODO	HASTA MAYO	Consumo sólo desde 15/09/2015 hasta 06/05/2016 / No hay datos de Matrimonio
V01	B8-4D	SE	61.07	-	Butano	Butano	2	-	-	-	-	-	OUT
V05	B8-3B	NO	61.07	Aire Acondicionado	Gas	Vitrocerámica	1	-	-	-	-	-	OUT
V08	B8-4C	NO	61.07	-	Gas	Vitrocerámica	2	-	-	-	-	-	OUT
V12	B7-2D	SE	61.07	Bomba de Calor	Butano	Vitrocerámica	5	-	-	-	-	-	No consumo/ Salon y matr 2 años, dorm 1
V13	B7-5C	NO	56.63	Aire Acondicionado	Butano	Vitrocerámica	3	-	-	-	-	-	No consumo/ Localización monitores mal
V26	B7-2B	NO	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Salón no
V28	B8-5B	NO	61.07	Aire Acondicionado	Gas	Vitrocerámica	3	-	-	-	-	-	OUT
V30	B9-4A	SE	61.07	-	Eléctrico	Butano	1	-	-	-	-	-	OUT

Tabla 7. 6. Características de las viviendas.



### 7.3. Pendientes de las rectas de regresión

	Vivienda	HVCA	Pendiente
V24	B7-4C	Aire Acondicionado	0.9527
V10	B6-4B	Bomba de Calor	1.0127
V11	B6-5A	Aire Acondicionado	1.0206
V14	B6-2B	-	1.0251
V02	B8-4B	Aire Acondicionado	1.0332
V27	B7-5A	-	1.0343
V21	B6-3B	Bomba de Calor	1.036
V22	B6-5B	-	1.0412
V06	B8-5C	-	1.0417
V16	B9-2B	-	1.0453
V18	B9-5B	Bomba de Calor	1.052
V19	B7-1D	-	1.0566
V23	B7-3A	-	1.0572
V04	B8-2D	-	1.0683
V25	B8-2B	Bomba de Calor	1.0912
V20	B7-2A	Aire Acondicionado	1.0987
V09	B6-4A	Aire Acondicionado	1.1099
V29	B8-1D	Aire Acondicionado	1.1141
V17	B9-3A	Aire Acondicionado	1.1158
V15	B6-1A	Bomba de Calor	1.1166
V07	B7-5D	Aire Acondicionado	1.1373
V03	B8-1C	Aire Acondicionado	1.1476

Tabla 7. 7. Pendientes rectas de regresión.

## 7.4. Líneas base

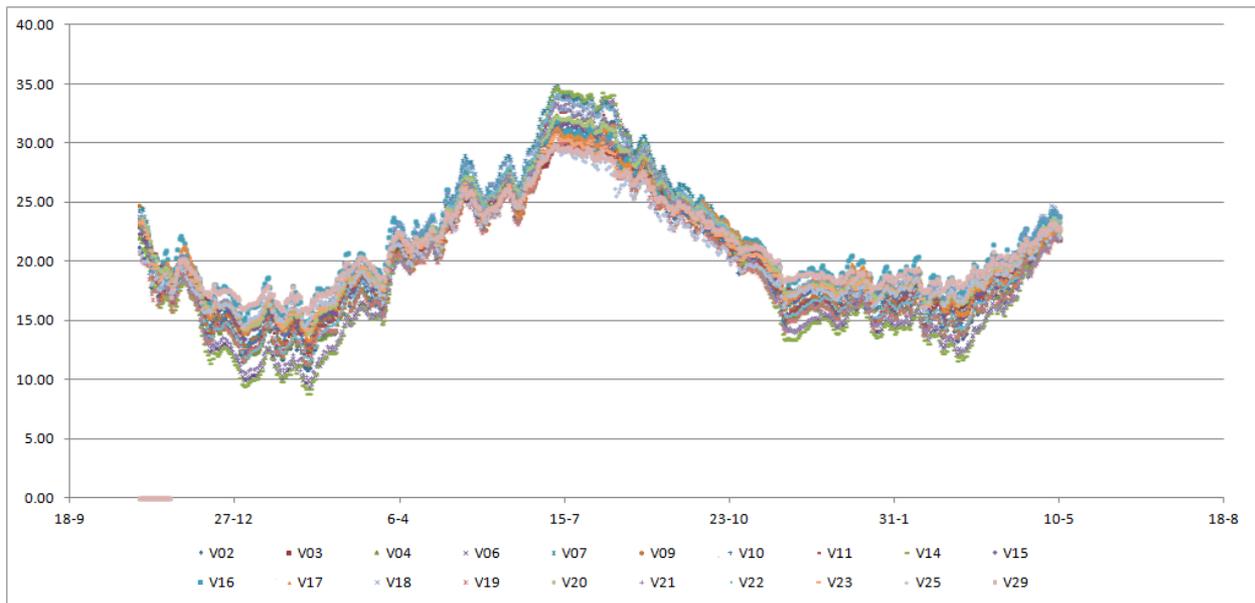


Figura 7. 1. Líneas base de todas las viviendas.

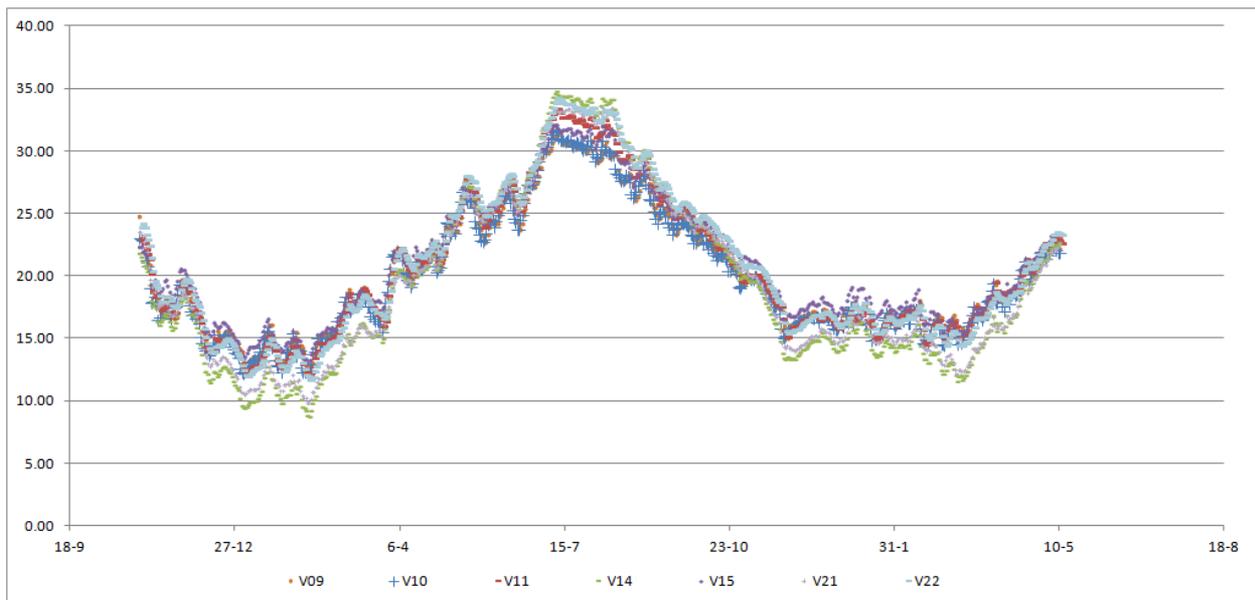


Figura 7. 2. Líneas base del bloque 6.

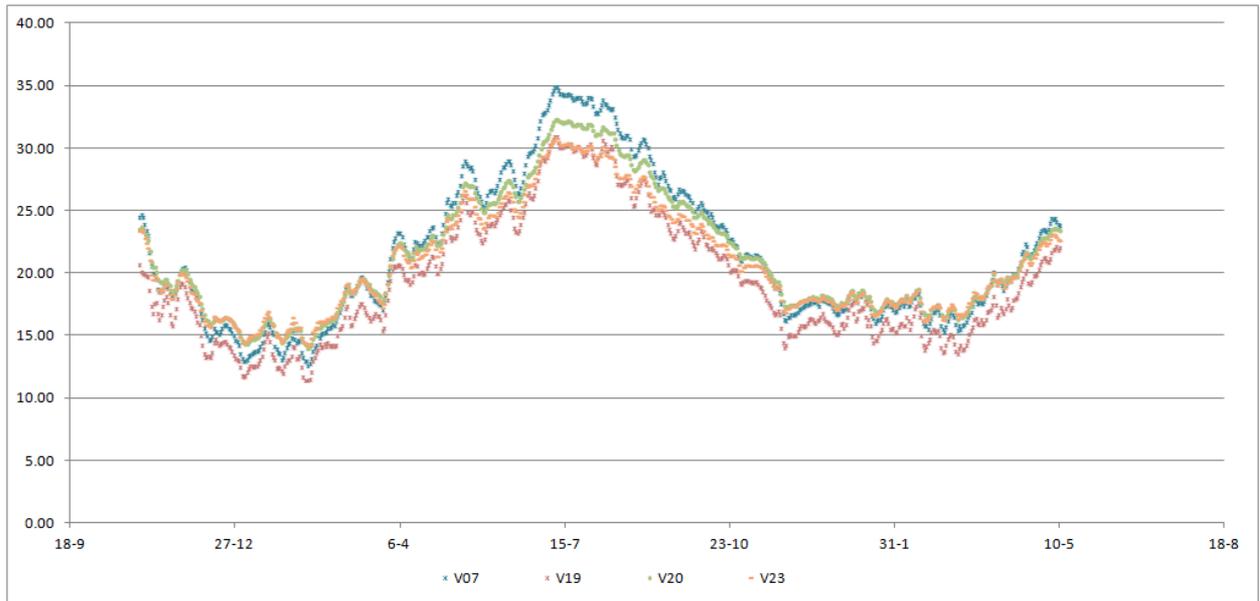


Figura 7. 3. Líneas base del bloque 7.

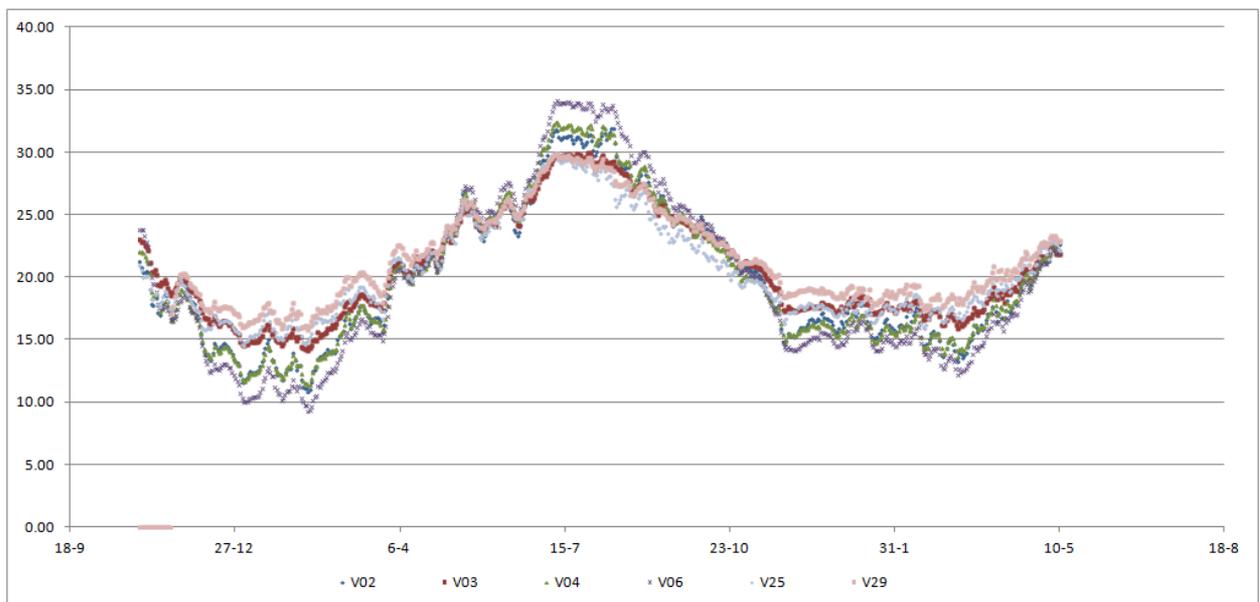


Figura 7. 4. Líneas base del bloque 8.

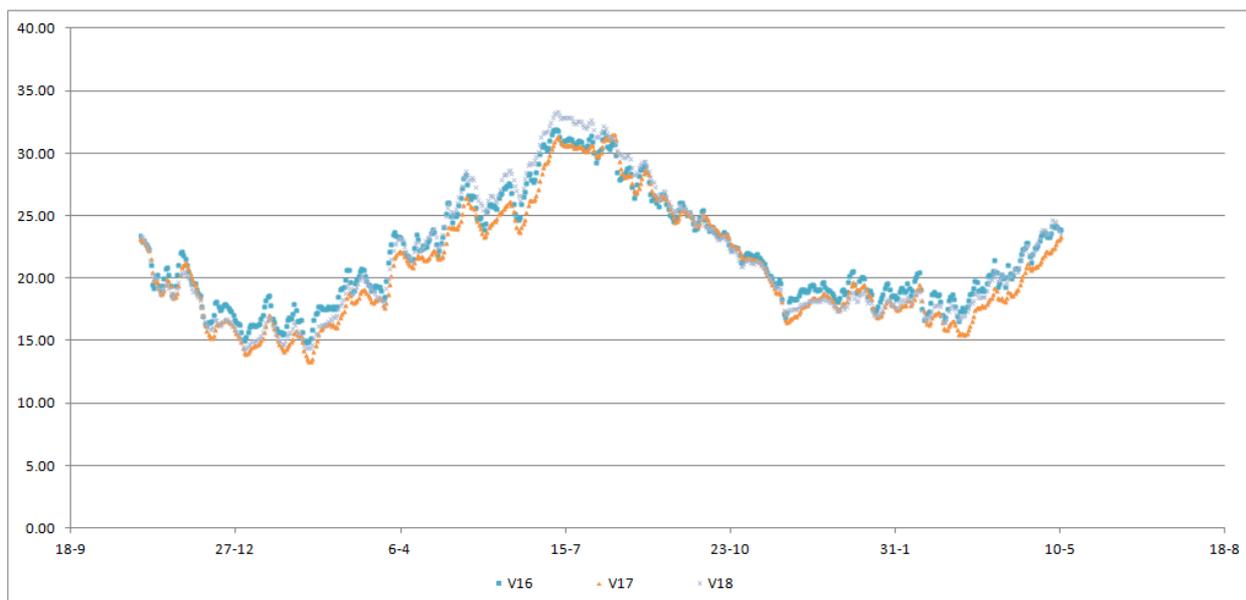


Figura 7. 5. Líneas base del bloque 9.





