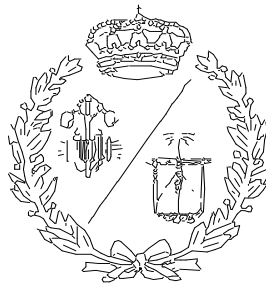


**ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN**

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**MODELIZACIÓN ENERGÉTICA DE VIVIENDA
COMO ESTUDIO DE LA VIABILIDAD EN LA
INSTALACIÓN DE UN TERMOSTATO
INTELIGENTE**

**(Energy housing modeling as study of the
viability to the smart thermostat system)**

Para acceder al Título de

**GRADUADO EN INGENIERÍA EN
TECNOLOGÍAS INDUSTRIALES**

Autor: Verónica Abascal Gutiérrez

Septiembre – 2018

Agradecimientos

A mi familia, en especial a mis padres, por su apoyo, ayuda y dedicación a lo largo de todos estos años. A Claudia por estar siempre ahí. A los que están y a los que se fueron, que brindarían felices por mí.

A Román, por haber sido el pilar fundamental durante esta dura etapa, por su paciencia en los días grises y por su habilidad en sacar sonrisas olvidadas.

A mis amigas por recorrer juntas este largo camino.

A mi tutor Mario por su tiempo, ayuda y conocimientos transmitidos.

Índice de contenido

Resumen	11
Abstract.....	12
Glosario	13
1 INTRODUCCIÓN	19
1.1 OBJETIVOS	23
1.2 JUSTIFICACIÓN	24
1.3 ALCANCE DEL PROYECTO	25
2 ESTADO DEL ARTE	27
2.1 ANTECEDENTES.....	27
2.2 CONDICIONES ENERGÉTICAS	27
2.2.1 Dependencia energética: Producción interior y grado de autoabastecimiento	27
2.2.2 Energía primaria y energía final	32
2.2.3 Evolución del consumo de energía primaria	33
2.2.4 Evolución del consumo de energía final	36
2.2.5 Sector residencial	39
2.3 COSTE DE LA ENERGÍA	42
2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA.....	47
2.5 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN	51
2.5.1 Calderas	51
2.5.2 Emisores de calor.....	54
2.6 ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS PARA LA GESTIÓN DOMÉSTICA DE LA CALEFACCIÓN ..	57
2.6.1 Evolución histórica	60
2.6.2 Tipología.....	65
2.6.3 Funcionamiento	71
2.6.4 Localización.....	73
2.6.5 TOON	75
2.7 MARCO NORMATIVO.....	86
3 METODOLOGIA.....	95
3.1 MARCO TEÓRICO.....	97
3.1.1 Transmisión de calor.....	100
3.1.2 Almacenamiento de calor	108
3.1.3 Cargas térmicas.....	110
3.1.4 Confort térmico.....	116
3.2 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	122
3.3 DATALOGGER PARA CAPTURA DE TEMPERATURAS	123
4 MODELO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA	125
4.1 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN	128
4.2 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS: Rth y Cth.....	132
4.2.1 Calentamiento de la vivienda.....	134

4.2.2	Enfriamiento de la vivienda	137
5	ENSAYOS EXPERIMENTALES.....	145
5.1	DATALOGGER PARA CAPTURA DE TEMPERATURAS	145
5.2	INERCIA TÉRMICA DE UNA VIVIENDA	149
5.2.1	Metodología.....	153
5.2.2	Vivienda 1.....	155
5.3	EVALUACIÓN DE TERMOSTATOS INTELIGENTES	170
5.3.1	Comportamiento de los termostatos para mantener la temperatura de consigna	175
5.3.2	Comportamiento de los termostatos durante un día de funcionamiento	176
5.4	AHORRO DOMÉSTICO CON TOON	178
5.4.1	Localización.....	178
5.4.2	Datos registrados	179
5.4.3	Análisis técnico.....	183
6	CONCLUSIONES.....	189
6.1	ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES	189
6.1.1	Inercia térmica de una vivienda	189
6.1.2	Evaluación de termostatos inteligentes	191
6.1.3	Ahorro doméstico con Toon	192
6.2	GENERALIDADES	193
6.3	LÍNEAS FUTURAS	194
7	BIBLIOGRAFÍA.....	197
8	ANEXOS.....	201
8.1	Anexo 1: Ficha técnica del sensor EL-21-CFR-2-LCD+	201
8.2	Anexo 2: Tabla de temperaturas/resistencias para sensores de platino (Pt100) y desviaciones permisibles.....	206
8.3	Anexo 3: Especificaciones de Raspberry Pi Model B	208
8.4	Anexo 4: Tabla de zonas climáticas de la Península Ibérica y de las Islas Canarias establecidas por el Código Técnico de Edificación.....	209
8.5	Anexo 5: Extracto del Código Técnico de Edificación para el cálculo del factor de corrección solar de huecos y lucernarios	210
8.6	Anexo 6: Perfiles de uso normalizado (solicitaciones interiores) recogidos en CTE [7]. Tabla de valores de calor latente o sensible por carga de ocupación.....	214
8.7	Anexo 7: Factores de corrección de la emisión calorífica de los radiadores.....	216
8.8	Anexo 8: Informe de precios energéticos regulados (Tarifas de gas natural y electricidad).	217

Índice de figuras

Figura 1. Evolución de la demanda de energía eléctrica peninsular (TWh). Fuente: Adaptado de Red Eléctrica Española-REE.....	20
Figura 2. Porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera según actividades de España. (MAPAMA,2016)	21
Figura 3. Dependencia energética de los países de la Unión Europea (UE). Fuente: Adaptado de Eurostat web.....	28
Figura 4. Comparativa de dependencia energética en España frente a la de la Unión Europea. Adaptado: Eurostat.....	29
Figura 5. Producción interna de energía en el año 2016. Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE).....	31
Figura 6. Evolución del grado de autoabastecimiento en España. Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE)	32
Figura 7. Consumo de energía primaria en España (ktep). 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat	34
Figura 8. Consumo energía final en España (ktep), excluidos usos no energéticos. 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat.....	37
Figura 9. Consumo de energía final por fuentes de energía y por sectores en 2016. Fuente: Adaptado de Eurostat.....	38
Figura 10. Consumos de energía final por fuentes energéticas del sector residencial (ktep) en 2016. Excluidos usos no energéticos.	40
Figura 11. Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2015. Fuente: Adaptado de MINETAD/IDAE/INE	41
Figura 12. Precios de gas natural para países de la Unión Europea, incluidos tasas e impuestos para la segunda mitad de 2017. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat.....	43
Figura 13. Evolución del precio de gas en España para los segundos semestres del año. En (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat.....	44
Figura 14. Precios de la electricidad en los países de la Unión Europea, incluidos tasas e impuestos en la segunda mitad del 2017. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat	45
Figura 15. Evolución de los precios de la electricidad en España en el segundo semestre de cada año. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat	46
Figura 16. Pilares sobre los que se asienta la eficiencia energética	48
Figura 17. Representación de la curva característica del comportamiento de un radiador. Fuente: [14]	56
Figura 18. Hipocausto romano. Fuente: nergiza.com	61
Figura 19. Termostato ambiental eléctrico [19]	62
Figura 20. Damper flapper por Albert Butz. Fuente: power-engineering.....	63
Figura 21. The Jewell, primer termostato programable. Fuente: honeywell.com	63
Figura 22. Primer termostato para calefacción/refrigeración. Fuente: honeywell.com	64
Figura 23. Línea del tiempo que caracteriza la evolución de los termostatos	65
Figura 24. Termostato digital no programable.....	67
Figura 25. Termostato inteligente.....	70
Figura 26. Aplicación para Smartphone o Tablet de un termostato inteligente.....	70
Figura 27. Funcionamiento de un termostato bimetálico	72
Figura 28. Termostato inteligente Toon y su aplicación para móviles [22]	77
Figura 29. Ajuste de temperatura, posibilidad de programa y preferencias de temperatura [22].....	79
Figura 30. Configuración de programa semanal [22]	80
Figura 31. Análisis de consumo de energía [22].....	80
Figura 32. Información meteorológica, periodo vacacional, opciones de control y otras funciones [22]	81
Figura 33. Temperaturas de consigna establecidas según hora del día.....	84
Figura 34. Etiqueta de eficiencia energética en edificio. Fuente: Ministerio de Industria Comercio y Turismo.....	91
Figura 35. Representación esquemática de la metodología empleada en este proyecto	96
Figura 36. Representación del balance térmico en una vivienda. Fuente: Arquitectura y Energía.....	99
Figura 37. Distribución de flujos de calor entre un cuerpo caliente y uno frío [28]	101
Figura 38. Distribución de temperaturas a lo largo de una barra como ejemplo del concepto de régimen estacionario.	102

Figura 39. Mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Fuente: Arquitectura y energía.....	103
Figura 40. Representación de las zonas climáticas según el CTE. Letras en invierno. Números en verano. Fuente: Grupo Inalsa	111
Figura 41. Zona ocupada según RITE. Fuente: Adaptado de [20].....	118
Figura 42. Diagrama psicrométrico de Givoni. La zona de confort se representa en color verde (Givoni,1969)	120
Figura 43. Representación del porcentaje de personas insatisfechas frente al voto medio estimado. Fuente: RITE [20].....	121
Figura 44. Los parámetros conocidos de la vivienda objeto para resolver el modelo.....	126
Figura 45. Esquema eléctrico simulación del modelo de la vivienda objeto.....	127
Figura 46. Página de inicio de Matlab	130
Figura 47. Librería de Simulink	131
Figura 48. Orden de importancia de los programas/paquetes de MathWorks.....	131
Figura 49. Ventana de librería y construcción del modelo en Simulink	132
Figura 50. Gráfica del calentamiento y enfriamiento de la vivienda real respecto del tiempo	133
Figura 51. Proceso de calentamiento de la vivienda.....	134
Figura 52. Proceso de enfriamiento de la vivienda.....	137
Figura 53. Pantalla de inicio de sesión en el programa EasyLog 21CFR	146
Figura 54. Las tres funciones a realizar en el programa EasyLog 21CFR	146
Figura 55. Dispositivo EL-21CFR-2-LCD+	148
Figura 56. Inercia térmica de una vivienda	151
Figura 57. Ubicación de la vivienda seleccionada para la obtención de datos en el ensayo de inercia térmica.....	155
Figura 58. Termostato digital y sensor térmico en la vivienda 1.....	157
Figura 59. Valores característicos en el interior de la vivienda en el ensayo 1.....	160
Figura 60. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 1....	161
Figura 61. Valores característicos en el interior de la vivienda durante el ensayo 2.....	163
Figura 62. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 2....	164
Figura 63. Valores característicos en el interior de la vivienda en el ensayo 3.....	168
Figura 64. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 3....	169
Figura 65. Componentes en el interior de la caja [23].....	171
Figura 66. Componentes en la ventana de la caja [23].....	172
Figura 67. Sonda Pt100	173
Figura 68. Dispositivo Raspberry Pi 3 Model B [39]	173
Figura 69. Funcionamiento de la cámara de ensayos térmicos	174
Figura 70. Ubicación de la vivienda seleccionada para la obtención de datos para el modelo	179
Figura 71. Visualización de algunos componentes para el registro de lectura del contador	181
Figura 72. Raspberry Pi con PiFace Digital 2(1). Cámara (2). Bombilla (3)	182
Figura 73. Colocación final del conjunto para la lectura del contador de gas	183
Figura 74. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (29/04/2018)	184
Figura 75. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (30/04/2018)	184
Figura 76. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (01/05/2018)	185
Figura 77. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (02/05/2018)	186
Figura 78. Flujo de calor desde el interior al exterior de la vivienda.....	190
Figura 79. Representación del incremento de temperatura frente al incremento del tiempo para los cuatro días muestreados	192

Índice de tablas

Tabla 1. Producción interior de energía primaria (ktep). Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE).....	30
Tabla 2. Consumo de energía primaria (ktep) por fuentes. 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat	33
Tabla 3. Consumo energía final en España (ktep por fuentes). 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat	36
Tabla 4. Consumos de energía final por fuentes energéticas del sector residencial (ktep). 2010-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat	39
Tabla 5. Condiciones de ensayo de los radiadores según.....	55
Tabla 6.Registro de resultados para mantener la temperatura de consigna.....	84
Tabla 7. Temperatura máxima y mínima registrada por el termostato para las diferentes temperaturas de consigna.....	85
Tabla 8.Tiempos de encendido del sistema de calefacción durante los distintos periodos del día	85
Tabla 9.Condiciones interiores de diseño	89
Tabla 10. Rendimientos mínimos de calderas estándar a partir del año 2012, para diferentes potencias nominales (FUENTE: Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual, IDAE)	90
Tabla 11. Conductividad térmica de algunos materiales de construcción. Fuente: Adaptado de [27]	105
Tabla 12. Propiedades de algunos materiales de construcción: Densidad, calor específico y calor específico volumétrico.....	109
Tabla 13. Características a conocer antes de realizar el estudio de cargas térmicas de la vivienda .	112
Tabla 14. Valores del PMV. Fuente: Adaptado del RITE [20].....	121
Tabla 15. Valores de potencia de caldera a emplear en la resolución del modelo	135
Tabla 16. Cálculo de la resistencia térmica de la vivienda (R_{th})	136
Tabla 17. Cálculo de la capacidad calorífica de la vivienda (C_{th}) y masa térmica (M)	140
Tabla 18. Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el primer ensayo	158
Tabla 19. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 1	160
Tabla 20. Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el segundo ensayo	162
Tabla 21. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 2	164
Tabla 22.Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el tercer ensayo	166
Tabla 23. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 3	168
Tabla 24. Balance de potencia calorífica suministrada a la vivienda durante los cuatro días ensayados.....	187
Tabla 25. Resumen tabulado de las lecturas del sensor en los 3 ensayos realizados	189
Tabla 26. Carga térmica por ocupación. Fuente: Adaptado de Manual de Aire Acondicionado (Carrier) [31]	215

Resumen

El exceso del consumo energético en el sector residencial en España, así como los precios derivados del mismo han incrementado en los últimos años. Las perspectivas futuras indican que este crecimiento va a persistir. La tecnología está experimentando un importante progreso y evolución con mayor influencia en los hogares españoles. Las viviendas disponen de más dispositivos electrónicos que suponen un aumento en la demanda de energía en el hogar. Además de esto, como consecuencia del cambio climático, se busca la reducción de emisiones de gases de efecto invernadero que dañen a la atmósfera y a la sociedad.

Es por ello que la eficiencia energética se está convirtiendo en el objetivo principal de los países en nuestros días. Se están realizando análisis y estudios de recursos o alternativas que permitan reducir el consumo energético, favoreciendo al medioambiente y ofreciendo una calidad de vida a los usuarios.

En el presente proyecto se estudian las posibles ventajas de la instalación de un termostato inteligente en una vivienda de uso residencial frente a la utilización de un crono-termostato convencional. Puede ser instalado en cualquier vivienda de la geografía española. Por tanto, cada vivienda será diferente. Para obtener unas conclusiones que sean adaptables a cualquier hogar se opta por la obtención de un modelo térmico de vivienda lo más sencillo posible.

Se analiza el comportamiento del termostato inteligente y su campo de aplicación frente a diferentes condiciones impuestas. Es necesario conocer el sector donde se va a instalar, las condiciones energéticas y los consumos correspondientes.

Se llevan a cabo diversos ensayos experimentales que han influido en la concepción del modelo térmico, así como en la obtención de ciertas conclusiones sobre el termostato en cuestión.

En cuanto a cuestiones térmicas se han llevado análisis sobre transmisión de calor, confort térmico y cargas térmicas con el fin de obtener un modelo lo más semejante posible al real. Los datos disponibles sobre las características de la vivienda son escasos, por lo que predomina la sencillez.

Palabras clave: Termostato inteligente, confort térmico, eficiencia energética, transmisión de calor, energía, calefacción.

Abstract

The excess of energy consumption in the residential sector in Spain has increased in recent years with an important rise in prices. Future prospects indicate that this growth will persist. Technology is experiencing a significant progress and evolution and its influence in Spanish households is greater and greater. The dwellings have more electronic devices available that represent an increase in energy demand. In addition to that, the reduction of greenhouse gas emissions has an important role in the society because of the climate change.

That is why the main goal of the countries nowadays is the energy efficiency. Therefore, analysis and studies of different resources are carried out in order to reduce the energy consumption. This favours the environment and provides quality of life to users.

In this project, the advantages of using smart thermostat instead of conventional thermostat in a dwelling are studied. This device can be installed in any part of the Spanish terrain. It works in any kind of household too. Therefore, the house characteristics will be different. In order to obtain conclusions that could be flexible to any dwelling, it is necessary to build a thermal housing model as simple as possible.

The behaviour of the smart thermostat is analysed as well as its field of application to different kind of conditions. It is necessary to know the sector where it will be installed, the energy conditions and the energy consumptions.

Several experimental test are carried out. They have a great influence in the conception of the thermal model just as the conclusions of the smart thermostat.

As far as thermal issues are concerned, the heat transfer, thermal comfort and thermal loads have been studied. This allows for achieving a model that looks like the real dwelling. The available data of the dwelling' characteristics are limited, so the model needs to be simple.

Key words: Smart thermostat, thermal comfort, energy efficiency, heat transfer, energy, heating.

Glosario

ACS (Agua Caliente Sanitaria): Servicio energético para calentar agua de baño, limpieza y otras aplicaciones independientes de la cocina.

Caldera: Equipo a presión en el que el calor procedente de cualquier fuente de energía se transfiere a los usos térmicos del edificio por medio de un circuito de agua cerrado. No se incluyen en esta definición aquellos equipos basados en motores de combustión interna o externa, los de cogeneración o bomba de calor.

Calefacción: Proceso por el que se controla solamente la temperatura del aire de los espacios con carga negativa. Servicio energético para suministrar calor en el interior de una vivienda.

Calificación energética: Letra que indica la clase de eficiencia energética para un indicador determinado. La escala de calificación energética depende del valor del indicador para el edificio de referencia, el valor del indicador para el edificio objeto y la dispersión del indicador para la población de referencia. En edificios nuevos la escala comprende, en orden de mayor a menor eficiencia, las calificaciones o clases A, B, C, D y E, extendiéndose hasta las calificaciones F y G para edificios ya existentes.

Carga interna: Conjunto de demandas generadas en el edificio, debidas, principalmente, a los aportes de energía de los ocupantes, los equipos eléctricos y la iluminación.

Carga parcial: (Expresada en porcentaje), es la relación entre la potencia útil de una caldera que funcione de forma intermitente o a una potencia inferior a la potencia útil nominal, y esta misma potencia útil nominal.

Clima de referencia: Clima recogido en la normalización que define unos parámetros climáticos, como temperatura o radiación solar, característicos de una zona concreta para el cálculo de la demanda.

Climatización: Acción y efecto de climatizar, es decir, de dar a un espacio cerrado las condiciones de temperatura, humedad relativa, calidad del aire y, a veces, también de presión, necesarias para el bienestar de las personas y/o la conservación de las cosas.

Clo: Unidad de resistencia térmica de la ropa; $1 \text{ clo} = 0.155 \text{ [m}^2\text{°C/W]}$

Consumo energético: Energía necesaria para satisfacer la demanda energética de los servicios de calefacción, refrigeración, ACS e iluminación. Las unidades son $[\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}]$, considerada la superficie útil de los espacios habitables.

COP: Coeficiente de eficiencia energética de una máquina frigorífica en la modalidad de calefacción (acrónimo en inglés “Coefficient of Performance”). Es la relación entre la capacidad calorífica y la potencia efectivamente absorbida por la unidad.

Demanda energética: Energía útil que es necesaria aportar en el interior del edificio por los sistemas técnicos del mismo para mantener unas condiciones definidas reglamentariamente en función del uso y de la zona climática en la que se encuentre. Es posible dividir esta demanda en demanda de calefacción, de refrigeración, de agua caliente sanitaria (ACS) y de iluminación. Se expresa en $[\text{kWh/m}^2\cdot\text{año}]$, considerada la superficie útil de los espacios habitables del edificio.

Edificio: Construcción techada con paredes en la que se emplea energía para acondicionar el clima interior: puede referirse a un edificio en su conjunto o a partes del mismo que hayan sido diseñadas o modificadas para ser utilizadas por separado.

Energía final: Energía tal y como se usa en los puntos de consumo. Es la que los consumidores compran en forma de electricidad, carburantes o cualquier otro combustible de manera directa.

Energía primaria: Energía suministrada procedente tanto de fuentes renovables como no renovables que no ha sufrido ningún proceso de transformación o conversión. Es la energía contenida en combustibles y otras fuentes energéticas e incluye la energía necesaria para generar la energía final consumida, incluyendo las pérdidas por los procesos de transformación, transporte, etc.

Envolvente térmica del edificio: Está compuesta por todos los cerramientos que delimitan los espacios habitables con el aire exterior, el terreno u otro edificio, y por todas las particiones interiores que delimitan los espacios habitables con espacios no habitables en contacto con el ambiente exterior.

Generador: Equipo para la producción de calor o frío. Generador de aire caliente: es un tipo especial de generador de calor, en el cual el fluido portador de la energía térmica es el aire.

Humedad relativa: (*Relative humidity-RH*), es el tanto por ciento de presión de vapor que tiene el aire respecto de la máxima que puede tener a una temperatura dada. Es la relación entre la fracción molar del vapor de agua en el aire y la fracción molar de vapor de agua en el aire saturado a esa temperatura. Depende de la temperatura y de la presión. En ambientes cálidos disminuye la humedad relativa, mientras que en ambientes fríos aumenta.

Masa térmica: Capacidad de los materiales de absorber y almacenar calor. Depende de la densidad del material, de su calor específico y de su conductividad.

Met: Unidad metabólica; $1 \text{ met} = 58.2 \text{ [W/m}^2\text{]}$

Potencia contratada: Es la potencia máxima [kW] que una vivienda puede exigir a la red eléctrica de forma simultánea.

Potencia eléctrica: Es la transferencia de energía eléctrica por unidad de tiempo. Según el Sistema Internacional, su unidad es el vatio [W]. $1000 \text{ W} = 1 \text{ kW}$.

Potencia instalada: Es la suma de las potencias nominales [kW] de los aparatos de consumo de un cliente.

Potencia nominal útil: (Expresada en kW), la potencia calorífica máxima que, según determine y garantice el constructor, puede suministrarse en funcionamiento continuo, ajustándose a los rendimientos útiles declarados por el constructor.

PPD: Porcentaje estimado de insatisfechos (*Predicted Percentage of Dissatisfied*). Proporciona datos sobre la incomodidad o insatisfacción térmica basándose en la estimación del porcentaje de personas susceptibles de sentir demasiado calor o demasiado frío en unas condiciones ambientales dadas [1].

Radiación solar: Energía procedente del sol en forma de ondas electromagnéticas. La Radiación Solar Global media diaria anual es la radiación solar, tanto directa como indirecta (global), que llega a una superficie determinada, tomando el valor anual como suma de valores medios diarios.

Recinto habitable: Recinto interior destinado al uso de personas cuya densidad de ocupación y tiempo de estancia exigen unas condiciones acústicas, térmicas y de salubridad adecuadas.

Recinto no habitable: Recinto interior no destinado al uso permanente de personas o cuya ocupación, por ser ocasional o excepcional y por ser bajo el tiempo de estancia, sólo exige unas condiciones de salubridad adecuadas. En esta categoría se incluyen explícitamente los garajes, trasteros, las cámaras técnicas y desvanes no acondicionados y las zonas comunes.

Refrigeración: Servicio energético para producir frío en una vivienda, mediante un sistema o unidad de refrigeración.

Rendimiento útil: (Expresado en porcentaje), es la relación entre el flujo calórico transmitido al agua de la caldera y el producto del poder calorífico inferior a presión constante del combustible por el consumo expresado en cantidad de combustible por unidad de tiempo.

Solicitaciones exteriores: Acciones exteriores al edificio que tienen efecto sobre el comportamiento térmico del mismo. Comprende, principalmente, las cargas térmicas debidas al clima.

Solicitaciones interiores: Acciones interiores al edificio que tienen efecto sobre el comportamiento térmico del mismo. Comprende, fundamentalmente, las cargas térmicas debidas a los aportes de energía de los ocupantes, equipos e iluminación.

Temperatura de consigna: Temperatura o rango de temperaturas en el cálculo de la demanda energética que establece el límite de temperatura interior. A partir de dicha temperatura los sistemas de acondicionamiento del edificio o vivienda efectúan su trabajo, requiriendo en algunos casos aportes energéticos.

Temperatura de rocío: Temperatura a partir de la cual el vapor de agua del aire comienza a condensar en líquido o nieve. A dicha temperatura la humedad relativa es del 100%.

Temperatura operativa: Temperatura uniforme de un recinto radiante negro en el cual un ocupante intercambia la misma cantidad de calor por radiación y convección que en el ambiente no uniforme real.

tep: Tonelada equivalente de petróleo (en inglés, toe) es una unidad de energía. Equivale a la energía producida en la combustión de una tonelada de petróleo. $1 \text{ tep} = 10^7 \text{ kcal} = 41.868 \text{ GJ}$. Normalmente en la realización de balances energéticos se emplean miles de toneladas equivalentes de petróleo [ktep].

Transmitancia térmica: Flujo de calor para régimen estacionario que atraviesa un área determinado con una diferencia de temperaturas unitarias de los medios situados a cada lado del elemento con el que se trabaja.

Usuario: Persona física o jurídica que utiliza la instalación térmica.

Zona climática: Zona para la que se definen unas solicitudes exteriores comunes a efectos de cálculo de la demanda energética. Se identifica mediante una letra, correspondiente a la severidad climática de invierno, y un número, correspondiente a la severidad climática en verano.

Zona térmica: Es el conjunto de locales en los que sus temperaturas pueden considerarse idénticas, siendo atendidas por un mismo subsistema de climatización. En cada local pueden existir sistemas de control que ajusten las aportaciones térmicas.

1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad las sociedades se encuentran en continua evolución y desarrollo y la energía se está convirtiendo en uno de los recursos más valorados por los países. La cantidad de energía demandada y su consumo cada vez es mayor, por eso se está implementando y desarrollando nuevas fuentes generadoras. La utilización de sistemas sostenibles de generación energética es una de las preocupaciones sociales existentes.

Uno de los principales objetivos en la actualidad es la reducción del gasto de energía a nivel usuario ya que el precio de la misma, así como la dependencia de la misma cada vez son mayores. Analizando los datos y estadísticas publicadas se observa que el precio de la energía aumenta progresivamente. Para permitir al usuario un cierto margen económico es necesario concienciar al mismo del uso que se le da a la energía e intentar disminuir el consumo para conseguir una mejora de la eficiencia de las instalaciones.

El consumo energético es función de tres factores: la compra de energía, la eficiencia energética y el uso de la misma. La compra de energía depende directamente de la eficiencia energética y dicha eficiencia dependerá del uso que se le dé a esa energía, marcando la compra, el contrato y la tarifa del usuario.

Las energías renovables han experimentado en los últimos años una evolución considerable. Se está apostando por ellas debido al menor impacto medioambiental que ocasionan, en concreto por las emisiones de gases de efecto invernadero que afectan al calentamiento global. Esta reducción de emisiones es una cuestión cada vez más presente y de interés en la sociedad actual y que contribuye a la denominada eficiencia energética. Uno de los sectores que más emisiones genera en España es el sector eléctrico [2] y, por tanto, es muy importante reducir dichas emisiones mediante la utilización de energías limpias.

Los intereses por alcanzar un sistema energético más sostenible se están viendo plasmados en el crecimiento de acuerdos internacionales para intentar establecer unas bases y reglamentos que eviten el avance de dicho cambio climático. El denominado mix energético lo constituyen desde las centrales hidroeléctricas, las

térmicas o nucleares con sus respectivos impactos medioambientales, hasta la energía solar, eólica, biomasa o mareomotriz.

Según datos de la Red Eléctrica Española, en España se consumieron 253 TWh de energía eléctrica en 2017, de los cuales Cantabria demandó 4.368 GWh [2]. Es decir, España consumió aproximadamente 58 veces la energía que necesitaba Cantabria. En la Figura 1 podemos ver el aumento de dicha demanda.

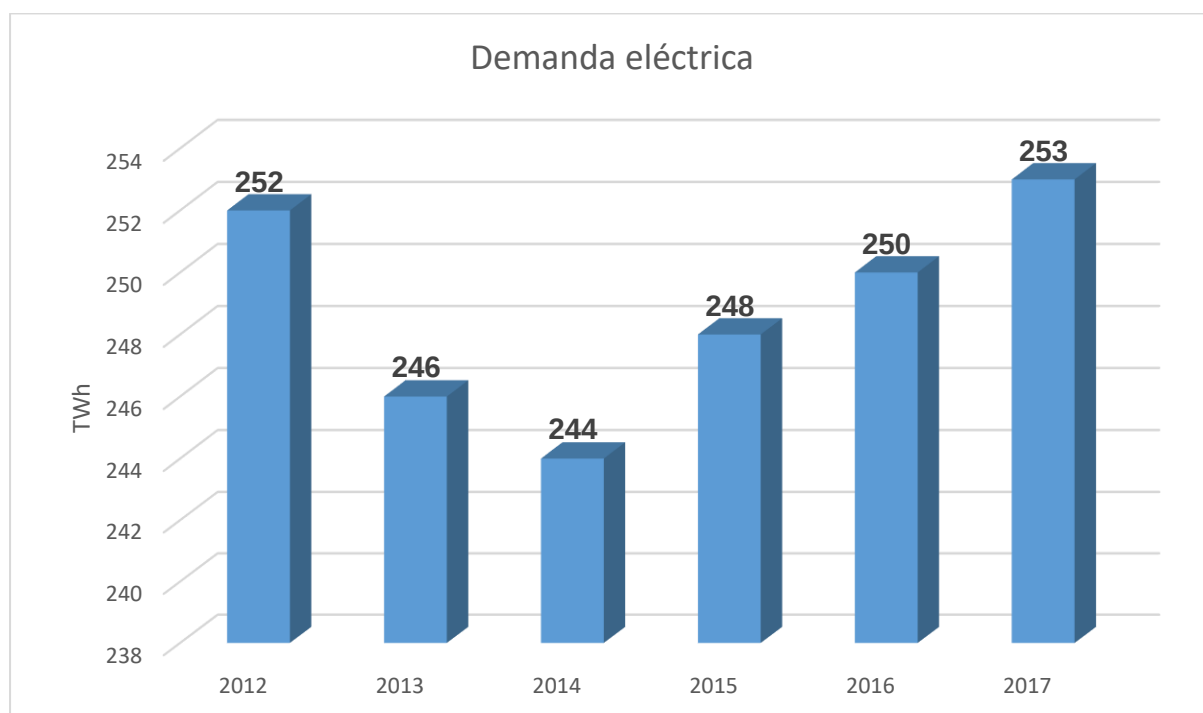


Figura 1. Evolución de la demanda de energía eléctrica peninsular (TWh). Fuente: Adaptado de Red Eléctrica Española-REE

El Avance del Inventario de Emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) [3] estima para el año 2016 un nivel global de emisiones de 323,8 millones de toneladas de CO₂-eq, lo que supone un descenso del 3,5% con respecto al año anterior. El sector con más peso es el energético, que supone un 75% del total. Dicho sector se divide en 27% transporte, 18% generación eléctrica, 13% combustión de la industria y 12% residencial, comercial y otros. EL sector agrícola contribuyó con un 11%, los procesos industriales y uso de productos un 10%, y finalmente los residuos un 4%. (MAPAMA, 2016). En la Figura 2 se mostrarán las contribuciones de los distintos sectores nombrados.

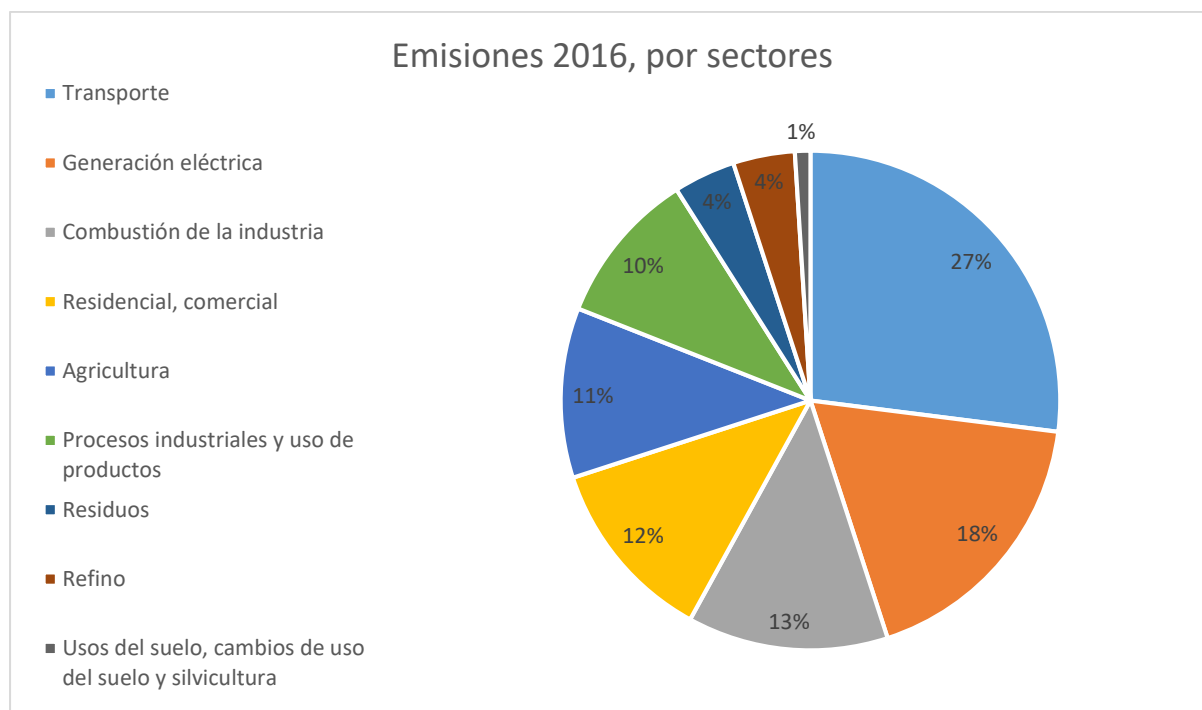


Figura 2. Porcentaje de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) a la atmósfera según actividades de España. (MAPAMA, 2016)

El sistema de energía global está siendo modificado y cambiado. Se está acercando a una transformación histórica. Cada vez existen más personas que se conectan a la red debido a que el tipo de vida y las condiciones de la misma van mejorando en todo el mundo. Un hecho latente en nuestros días es que la demanda de electrodomésticos o dispositivos electrónicos se está viendo incrementada. Otro sector que impulsa este crecimiento de demanda son las nuevas tecnologías que se están desarrollando en el sector transporte (autonomía, vehículos eléctricos, etc.). Las mejoras continuas en la tecnología causan la modificación de los modelos comerciales, la demanda energética, los suministros y los enfoques regulatorios.

El último informe de la Agencia Internacional de la Energía sobre las tecnologías energéticas [4] expone los avances, las tendencias y la evolución de las mismas en las próximas cuatro décadas. Se centra en las oportunidades y desafíos de progresar y acelerar el uso de tecnologías de energía limpia.

Los responsables encargados en la toma de decisiones sobre estas tecnologías se mueven principalmente teniendo en cuenta la seguridad energética, la calidad del aire, el cambio climático y la competitividad económica.

Según la publicación de la Agencia Internacional de la Energía, “Energy Technology Perspectives 2017” (ETP), señala que para poder alcanzar los objetivos establecidos en cuanto a energías limpias y cambio climático serán necesarias unas acciones políticas decisivas, que van más allá de lo existente hasta ahora. Las políticas actuales no son suficientes para alcanzar los objetivos climáticos a largo plazo. Según el informe, cuando las políticas han dado señales e instrucciones claras, el progreso ha sido notorio. Por ello es necesario que en todas las áreas tecnológicas se aborde el tema de un apoyo normativo adecuado. [4]

El escenario de caso base de ETP 2017 es conocido como “Reference Technology Scenario (RTS)” y tiene en cuenta los compromisos energéticos y climáticos existentes, incluidos los realizados en el Acuerdo de París. Otro escenario llamado 2DS propone un camino para limitar el aumento de temperatura global a 2 °C, y encuentra que para el año 2060 el sector de la energía mundial podría alcanzar emisiones netas de CO₂.

Según la Agencia Internacional de la Energía [4], uno de los sectores que desempeñan un papel fundamental en el apoyo a la transformación del sector energético son los edificios. La iluminación, el enfriamiento y los electrodomésticos de alta eficiencia podrían ahorrar hasta tres cuartas partes de la demanda actual de electricidad en el mundo para 2030. Estos tres aspectos son los más estudiados, y con los que se han visto algunas mejoras.

La Agencia Internacional de Energía publica cada año el denominado “Tracking Clean Energy Process” [5], donde proporciona una evaluación rigurosa de una selección de tecnologías y sectores energéticos que son fundamentales para la transición nombrada con anterioridad. Aporta información sobre dónde se encuentran las tecnologías hoy y dónde deben estar para cumplir el Acuerdo de París y el Escenario de Desarrollo Sostenible. Pese a la mejora en el sector edificios en cuanto a refrigeración, iluminación, equipos, etc. existen aspectos que necesitan mejorar notablemente, no están todavía en camino para alcanzar los objetivos establecidos. La calefacción y la envolvente de los mismos debe mejorar.

Las ventas de bombas de calor y equipos de calefacción renovables han aumentado alrededor de un 5% anual desde 2010. Representa el 10% de las ventas totales de 2017 [5]. Sin embargo, a pesar de esta demanda, los equipos de combustibles fósiles

siguen representando el 50% de las ventas. El equipo de calefacción eléctrica representa otro 25%. Para poder alcanzar los objetivos de transición en el sector energético, teniendo en cuenta el cambio climático, para el año 2030 será necesario que las bombas de calor, la calefacción renovable y la calefacción urbana moderna representen un tercio de las ventas. Estas tecnologías de calefacción de bajo consumo de carbono y alta eficiencia ayudarán a aumentar la intensidad de calentamiento.

Un aspecto a tener en consideración es que el uso de energía para calefacción se ha mantenido estable desde 2010, con intensidades de energía que disminuyen solo alrededor de un 2,6% anual desde dicho año. Este dato es equivalente al crecimiento del área del piso. Esto es principalmente debido por las mejoras en intensidad energética en los mercados con más relevancia, como Canadá, China, Unión Europea, Rusia y los Estados Unidos. Pero los combustibles fósiles todavía proporcionan la mayor parte de la calefacción y agua caliente en los edificios, alrededor del 80%, aunque se están viendo desplazados.

Es necesario analizar estos efectos sobre el medioambiente, las emisiones de gases efecto invernadero, el uso real que se da a la energía, los hábitos de la sociedad, etc. para poder llegar a ser un país autosuficiente, eficiente y sostenible. Las inversiones en infraestructuras más sólidas e inteligentes, la capacidad de transmisión, la capacidad de almacenamiento y las tecnologías de gestión de la demanda son necesarias para construir un sistema energético eficiente, flexible y bajo en carbono.

1.1 OBJETIVOS

El aumento del consumo de la energía, asociado a un elevado coste de la misma en los últimos años y a las previsibles perspectivas, lleva a realizar estudios de alternativas con las que se pueda reducir los costes energéticos.

En el presente proyecto se estudian las posibles ventajas de la instalación de un termostato inteligente en una vivienda de uso residencial frente a la utilización de un

cronotermostato convencional. A través de la programación y la regulación de los parámetros térmicos correspondientes a dicho termostato inteligente, se estudian los efectos que pueda tener sobre el consumo energético correspondiente a los sistemas de calefacción.

Para ello se procede a la creación de un modelo térmico simplificado correspondiente a una vivienda habitual, analizando las condiciones térmicas, el funcionamiento de la caldera y consumo energético mediante sensores y dispositivos electrónicos. Todo ello bajo el empleo de actuaciones y normativas vigentes.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Uno de los principales motivos que me hicieron decantarme por este proyecto es el enfoque del mismo y el ámbito que engloba. Me ofrece la oportunidad de colaborar y trabajar en un proyecto de investigación con una empresa. Este tipo de proyectos requieren horas de búsqueda, análisis, investigación y resolución, por parte individual y parte colectiva. Es decir, significa un aporte de ideas propias, pero a su vez recibes información y colaboración de otras personas, lo que permite incrementar tu formación y ampliar tus horizontes.

Otro de los motivos es el tema que abarca principalmente este proyecto. Durante los últimos meses de la carrera empecé a trabajar conceptos sobre eficiencia energética que me parecieron de gran interés y sentí más curiosidad por conocer más de ellos. Vivimos en una sociedad muy diferente a la de hace algunos años y que está en continuo progreso y evolución. Se dispone de grandes cantidades de tecnología y la demanda de energía que supone cada vez es mayor. Es por ello que se debe investigar y buscar alternativas a las actuales para permitir a la sociedad un consumo más eficiente que permita un ahorro energético considerable, así como contribuir con el medioambiente.

1.3 ALCANCE DEL PROYECTO

El proyecto se centrará en el estudio y análisis de la viabilidad económica que representa para el usuario la instalación de un termostato inteligente en su hogar. Es decir, los beneficios que puede representar esta instalación frente a un termostato convencional. Este documento no pretende adentrarse en aspectos puramente teóricos y técnicos sobre el sistema eléctrico o la ingeniería térmica, si no tener unas conclusiones que permitan tomar decisiones, haciendo un repaso a los aspectos anteriormente mencionados, sin entrar excesivamente en el detalle.

Por otro lado, el proyecto se centrará en las características y análisis de una vivienda de uso residencial habitual, y no tendrá en cuenta otras estancias, como pueden ser viviendas de uso no habitual, industria, etc.

De todas formas, como se trata en definitiva de aclarar y dar información al consumidor sobre los tipos de beneficio entre uno u otro termostato, podrá servir con carácter general las conclusiones a las que se llegue con este trabajo.

2 ESTADO DEL ARTE

2.1 ANTECEDENTES

Este proyecto trata del análisis de un termostato inteligente, dispositivos que están experimentando una evolución progresiva y una rápida implantación en los hogares españoles en los últimos años. El avance y progreso de la tecnología es un hecho cada vez más notorio en la sociedad.

Los termostatos inteligentes son el primer paso hacia un futuro de tecnologías dedicadas al control y automatización de manera inteligente de las viviendas. Estos avances permiten tener un control automatizado de aspectos cotidianos, mejorar la seguridad y el confort de los usuarios y tratar de forma eficiente los consumos de energía. Todo ello lleva al nuevo concepto de “Smart home”.

Desde hace años las personas buscan facilidades en su vida cotidiana que permitan mejorar su calidad de vida obteniendo una serie de prestaciones específicas. A través de dicha tecnología los usuarios serán capaces de obtener las soluciones a esos problemas. Los beneficios a adquirir pueden ser ahorros considerables, el control y registro de sus propios consumos, ayudar a no degradar el medioambiente, permitir el acceso desde cualquier lugar, etc.

Es un mercado que se encuentra en evolución, pero que está generando unas expectativas prometedoras hacia el futuro.

2.2 CONDICIONES ENERGÉTICAS

2.2.1 Dependencia energética: Producción interior y grado de autoabastecimiento

Se ha analizado la dependencia energética, así como de la demanda energética, teniendo en cuenta diversos factores y aspectos como las fuentes de energía o el uso final que se le da a la misma.

En la Figura 3 se observa la dependencia energética de algunos países de la Unión Europea. La dependencia energética muestra hasta qué punto una economía

depende de las importaciones para satisfacer sus necesidades energéticas. El indicador es calculado como importaciones netas divididas entre la suma del consumo de energía interno más los combustibles. Estos datos han sido obtenidos de la web Eurostat y están datados en el año 2016. [6]

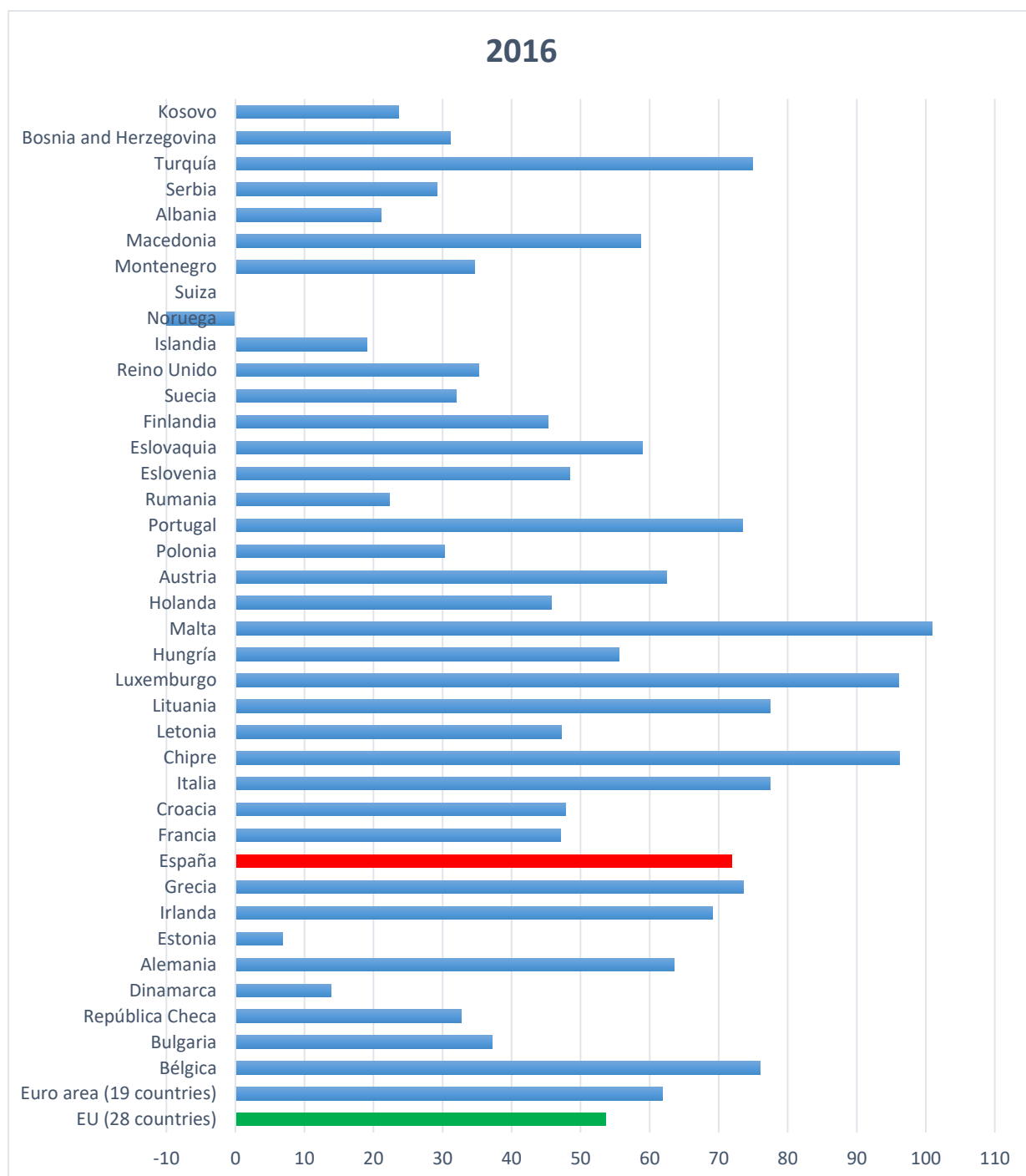


Figura 3. Dependencia energética de los países de la Unión Europea (UE). Fuente: Adaptado de Eurostat web

Como se puede observar en la imagen anterior, el nivel de dependencia energética exterior en España se encuentra por encima del 70%, alrededor del 71,9%. Este dato indica que una gran mayoría de la energía utilizada en este país no es producto generado en el mismo, es decir, no es nacional, sino que se importa de otros países.

Este dato se supone elevado, aún más teniendo en cuenta la media de la Unión Europea, que se encuentra sobre en torno al 53,6%. Sólo países como Turquía, Portugal, Malta, Luxemburgo, Lituania, Chipre, Italia, Grecia y Bélgica superan el porcentaje de dependencia energética de España. Por otro lado, por debajo del porcentaje medio calculado para la Unión Europea, se encuentran países como Islandia, Reino Unido, Suecia, Finlandia, Polonia, Francia, Holanda, existiendo una diferencia notoria en el caso de Dinamarca, que se desmarca mucho de los países anteriores. Un país destacable en el caso de dependencia energética es Noruega, ya que los datos obtenidos del mismo son negativos. Es decir, Noruega no depende energéticamente de ningún otro país, sino que toda la energía que utilizada es producto nacional. Cubre de forma independiente sus necesidades energéticas.

Para observar de manera más eficaz la dependencia energética de España y la media de la Unión Europea se representa la Figura 4 .

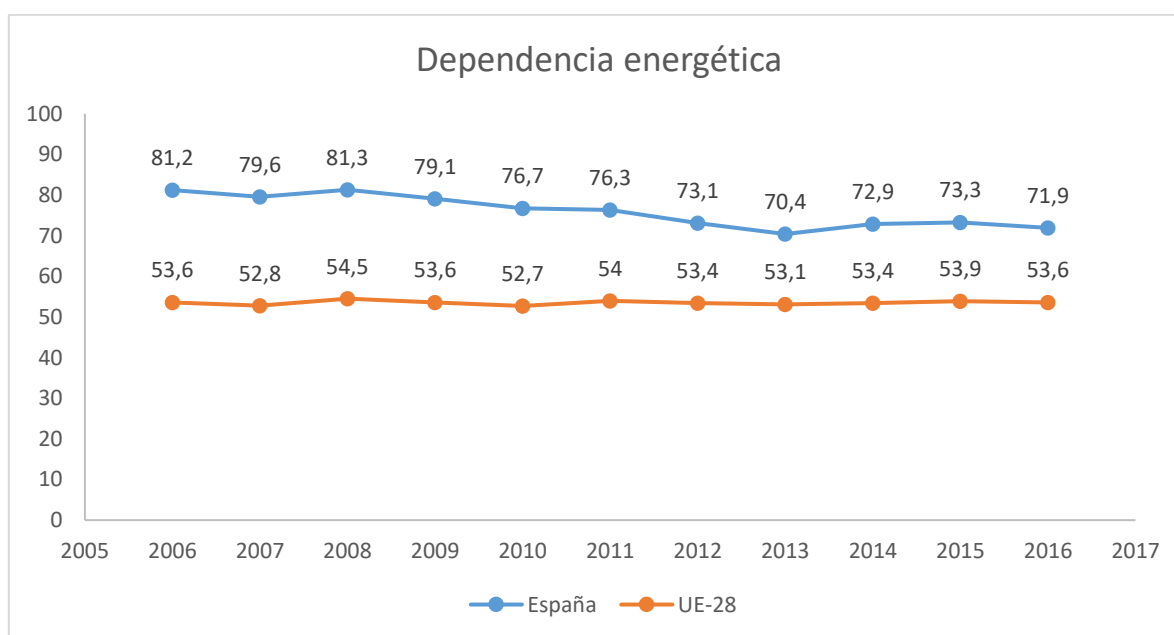


Figura 4. Comparativa de dependencia energética en España frente a la de la Unión Europea. Adaptado: Eurostat

Para poder asegurar la cobertura energética en nuestro país es necesario reducir la dependencia energética del exterior [7]. Esta medida se podrá llevar a cabo potenciando y destacando los recursos de los que dispone España y de manera más especial los que tengan que ver con renovables, tales como el sol, el agua, el viento y el territorio. España es uno de los países de la Unión Europea más ricos en cuanto a dichos recursos, por ello es necesario conocer y saber utilizar éstos de la forma más eficaz para conseguir ser un país líder en el sector de las energías renovables, tan importante en los tiempos actuales. Esto conllevará un avance en la sociedad, así como una autonomía de gran magnitud.

España se autoabastece mayoritariamente por energía de origen fósil [8]. La situación social y económica que alberga, así como la creciente evolución del consumo de la energía en el país, hace que este tipo de recursos sean empleados con mayor frecuencia. Pero estas fuentes de energía además de ser más contaminantes, son recursos agotables en una escala de tiempo no muy lejana. En la Tabla 1 se puede apreciar la producción interior de energía primaria en *ktep* (Miles de toneladas equivalentes de petróleo).

Tabla 1. Producción interior de energía primaria (ktep). Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE)

	2012	2013	2014	2015	2016
Carbón	2.460	1.762	1.628	1.246	686
Petróleo	145	375	311	236	144
Gas Natural	52	50	21	54	48
Nuclear	16.019	14.783	14.934	14.934	15.260
Hidráulica	1.767	3.170	3.369	2.397	3.130
Eólica, solar y geotérmica	6.679	7.632	7.599	7.476	7.394
Biomasa, biocarbur. y residuos	6.402	6.363	6.668	7.295	6.241
TOTAL	33.524	34.136	34.529	33.637	32.902

Como se observa en la Tabla 1, la producción de energía primaria en 2016 fue de 32.902 ktep, un 2,2% inferior a la del año anterior, esto se puede deber a diversos factores sociales o políticos.

Analizando la evolución de la producción nacional es necesario observar la vinculación de la energía producida con las fuentes de energía involucradas. De esta forma, se observa que, pese a la disminución del uso del carbón como fuente de producción de energía, las renovables experimentan un fuerte impulso. Esta disminución, por tanto, se ve compensada. La fuente principal de producción interna de energía es la nuclear. Es seguida por las energías renovables, el carbón, el petróleo y el gas natural. La producción de energía en el año 2016 en España en relación con las fuentes de energía se observa en la Figura 5.

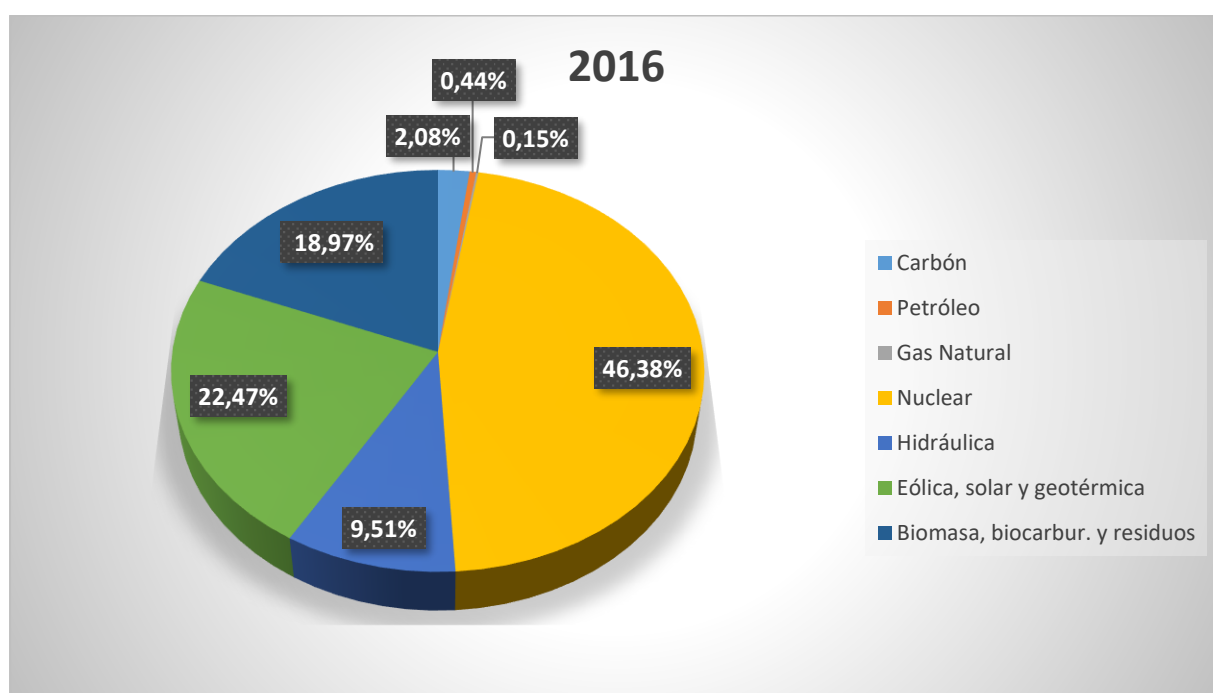


Figura 5. Producción interna de energía en el año 2016. Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE)

El grado de autoabastecimiento es un término que indica la relación entre la producción interior de energía y el consumo total de la misma. Es un factor que ha ido variando y mejorando en los últimos años a causa de la introducción de las energías renovables. En el 2016 alcanza un valor del 26,7%. En la Figura 6 se puede apreciar la evolución del grado de autoabastecimiento en los últimos años.

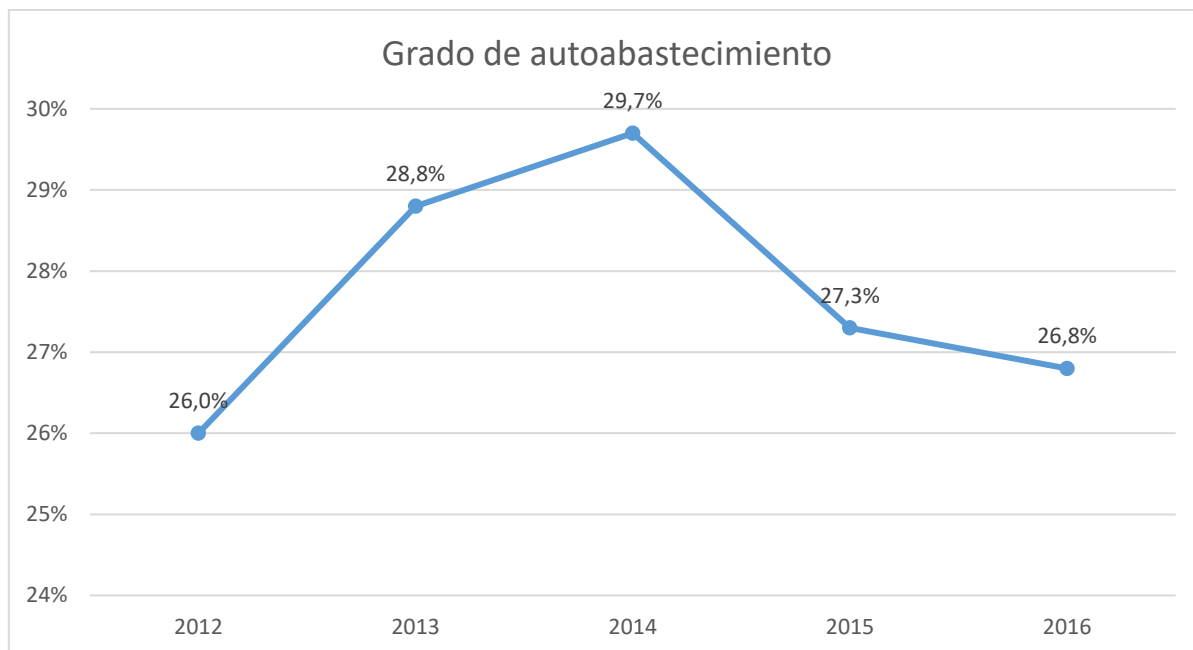


Figura 6. Evolución del grado de autoabastecimiento en España. Fuente: Adaptado de MINETUR (SEE)

2.2.2 Energía primaria y energía final

La energía primaria engloba todas las formas de energía que se pueden encontrar en la naturaleza antes de que pueda ser transformada o convertida. Supone la principal entrada en un sistema energético. Dicha energía es modificada posteriormente y se convierte en una fuente de energía que es utilizada para diversos fines. Es decir, la energía final es aquella que va destinada a usos directos en los puntos de consumo, por ejemplo, en forma de electricidad o calor. [8] La energía primaria es por tanto el resultado de la suma de la energía final utilizada, así como la energía que representa los procesos de transformación, las pérdidas asociadas a los mismos, y los autoconsumos, reflejada en la Ecuación (1). La energía final es el resultado de la energía del sistema de generación eléctrica y el refino y usos directos.

$$\begin{aligned} E. primaria &= E. final + Pérdidas + Autoconsumos \\ &+ Procesos de transformación \end{aligned} \quad (1)$$

2.2.3 Evolución del consumo de energía primaria

Durante los últimos años el consumo de energía primaria en España ha ido evolucionando hacia una forma más diversificada, donde las antiguas fuentes de energía como el carbón o el petróleo han quedado en un segundo lugar, dando paso a nuevas fuentes energéticas como las renovables o el gas natural.

Se analizarán los diferentes consumos energéticos desde 2006 hasta 2016, debido a que es el último balance energético realizado y publicado por la Secretaría de Estado de Energía y Eurostat [6]. Según los datos aportados se puede observar que el valor máximo de consumo energético en España se da en el año 2007. A partir de entonces, y aproximadamente durante siete años en España la demanda energética ha mantenido un ritmo descendiente debido a diversos factores, aunque como punto principal debido a la crisis económica [8]. Pero en el año 2015 esta demanda se incrementó aumentando el consumo energético. En la Tabla 2 se puede apreciar la evolución de dichos consumos de energía primaria en España desglosados en las distintas fuentes de energía.

Tabla 2. Consumo de energía primaria (ktep) por fuentes. 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

FUENTES	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carbón	18.383	19.748	13.979	10.609	8.159	12.455	15.395	10.860	11.486	13.237	10.192
Productos petrolíferos	70.390	70.983	68.031	63.171	60.610	57.905	53.091	50.510	49.270	52.251	53.728
Gas	31.272	31.826	34.954	31.264	31.162	28.939	28.576	26.163	23.667	24.538	25.040
Nuclear	15.510	14.214	15.212	13.610	15.991	14.889	15.856	14.633	14.782	14.782	15.125
Energías Renovables	9.164	10.007	10.552	12.569	15.048	14.832	16.135	17.744	17.768	16.620	17.432
<i>Biomasa(2)</i>	4.837	5.142	5.350	6.297	6.553	7.142	7.690	6.943	6.801	6.756	6.899
<i>Hidráulica</i>	2.232	2.348	2.009	2.271	3.637	2.631	1.767	3.170	3.368	2.420	3.129
<i>Eólica</i>	2.003	2.370	2.833	3.277	3.807	3.690	4.254	4.785	4.472	4.241	4.205
<i>Solar Fotovoltaica</i>	10	43	220	513	552	640	704	716	707	711	694
<i>Solar Térmica B.T & Termoeléctrica</i>	73	94	129	198	482	713	1.703	2.112	2.401	2.473	2.484

<i>Geotermia</i>	8	9	11	14	16	17	18	18	19	19	19
Saldo (Imp-Exp)	-282	-495	-949	-697	-717	-524	-963	-580	-293	-11	659
TOTAL	144.437	146.283	141.779	130.526	130.253	128.496	128.090	119.330	116.680	121.417	122.176

El incremento del consumo observado en 2015 se debe principalmente a la demanda de productos petrolíferos, así como del carbón y del gas natural en España. Estos dos últimos incrementos están relacionados con el descenso de la producción hidráulica y eólica durante dicho periodo, debido a una menor disponibilidad del recurso.

En el año 2016 el consumo de energía primaria en España fue de 122.176 ktep, lo que supuso un aumento con respecto al año anterior. Esto demuestra una mejora en la eficiencia del sistema energético español. Es necesario destacar que durante este periodo el consumo de fuentes primarias como el carbón descendió notablemente con respecto al año anterior, aproximadamente el 23%. Fuentes de energía primaria como los productos petrolíferos, así como el gas natural experimentan un pequeño aumento respecto al año 2015. En la Figura 7 se muestra el consumo de energía primaria por fuentes de energía desde el año 2006 al año 2016.

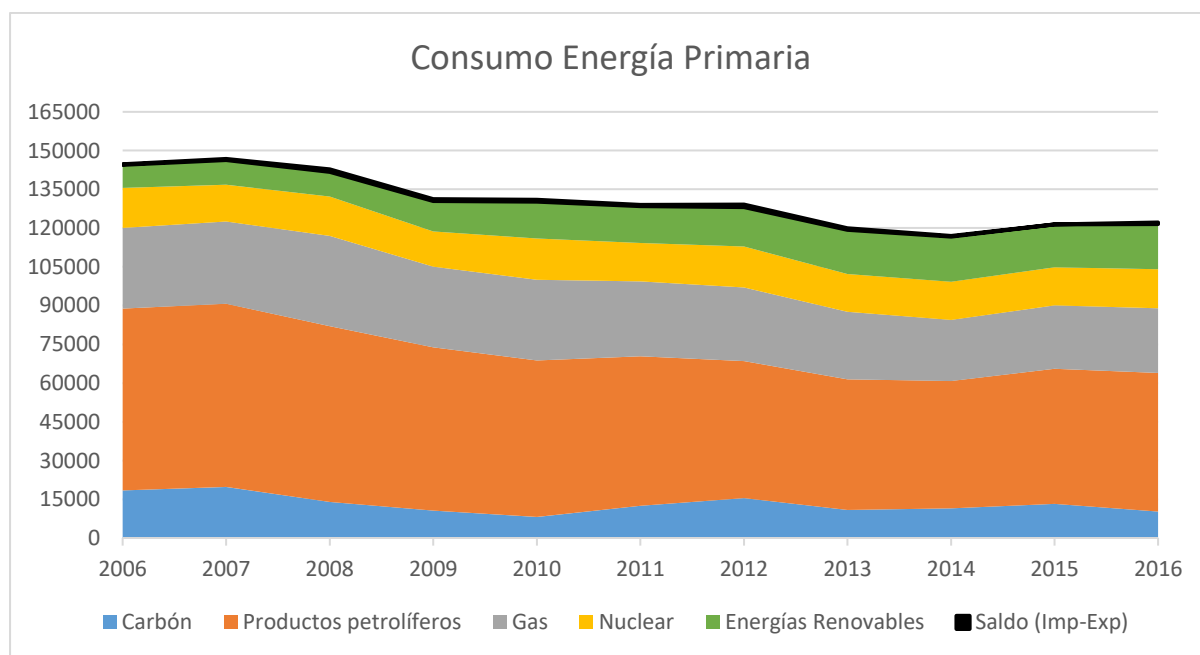


Figura 7. Consumo de energía primaria en España (ktep). 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

Es conveniente destacar el aumento con respecto a años anteriores del uso de las energías renovables en el sistema energético español. El aumento en 2016 de las mismas fue debido principalmente al aporte de la energía hidráulica, recurso abundante durante dicho año. Otro aspecto destacable durante los últimos 10 años es la evolución que ha experimentado la fuente de energía como la solar térmica, llegando a alcanzar valores muy similares a fuentes más implantadas como la hidráulica.

Este incremento de las energías renovables al mix energético español se debe principalmente a los nuevos objetivos sociales, políticos y medioambientales que se están imponiendo en los últimos años. Además, un aspecto importante llevado a estudio y análisis es la reducción del consumo energético. Para conseguir todos esos objetivos se llevan a cabo medidas y planes a nivel nacional como:

- Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020 [9]
- Plan de Energías Renovables 2011-2020 [10]

Los objetivos establecidos por la Comisión Europea el 28 de enero de 2008 y aprobados por el Consejo y el Parlamento Europeo establecieron que para el año 2020 el consumo de energía primaria de la Unión Europea tendría que reducirse en un 20%, junto con el 20% de reducción de emisiones de CO₂ y el 20% de consumo de energías renovables. [11]

En España analizando las previsiones macroeconómicas se ha establecido en el último Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética que el consumo previsto de energía primaria en 2020 se sitúe en 122,6 Mtep, representando una reducción del 24,7% respecto al escenario de referencia o tendencial.

El uso energético que los usuarios dan a las energías renovables ha de incrementarse progresivamente. Se establecen ciertos objetivos de obligado cumplimiento, como se ha nombrado con anterioridad ese 20% para 2020. Estos propósitos son para llegar a ser un país con una sociedad informada y concienciada en el desarrollo y la economía sostenible.

Con el cumplimiento de los planes nombrados con anterioridad, se reducirá la dependencia energética de España, así como los niveles de emisiones de gases de efecto invernadero.

2.2.4 Evolución del consumo de energía final

En la Tabla 3 se puede apreciar la evolución del consumo de energía final entre el periodo de 2006 y 2016 en España, expresados en ktep. En dicha tabla se analizan tanto los usos energéticos como los usos no energéticos, y la energía final total. Son datos publicados por Eurostat [6].

Tabla 3. Consumo energía final en España (ktep por fuentes). 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Carbón	1.586	1.733	1.574	1.166	1.261	1.639	1.255	1.556	1.297	1.306	1.414
Productos petrolíferos	53.253	54.513	51.722	47.744	46.787	43.999	40.074	39.337	38.797	40.467	41.930
Gas	15.468	16.040	15.006	13.255	14.645	14.310	14.909	15.046	14.519	13.368	13.674
Electricidad	21.163	21.564	21.934	20.617	21.049	20.938	20.658	19.784	19.510	19.952	19.993
Energías renovables	4.005	4.275	4.400	4.986	5.343	5.785	6.257	5.047	5.103	5.287	5.487
Total usos energéticos	95.475	98.125	94.636	87.768	89.085	86.671	83.153	80.770	79.226	80.380	82.498
Usos no energéticos											
Carbón	80	80	81	0	0	0	0	0	0	0	54
Productos petrolíferos	7.478	7.427	7.217	6.772	6.564	6.287	5.626	4.549	3.622	3.874	4.441
Gas natural	441	477	392	379	470	485	355	471	485	436	445
Total usos finales	103.529	105.868	103.056	95.780	95.950	93.120	89.087	84.786	81.442	83.105	85.745

En la Figura 8 se puede observar la evolución del consumo de energía final en España en el periodo de 2006-2016 según fuentes de energía, publicado por Eurostat, excluidos los usos no energéticos.

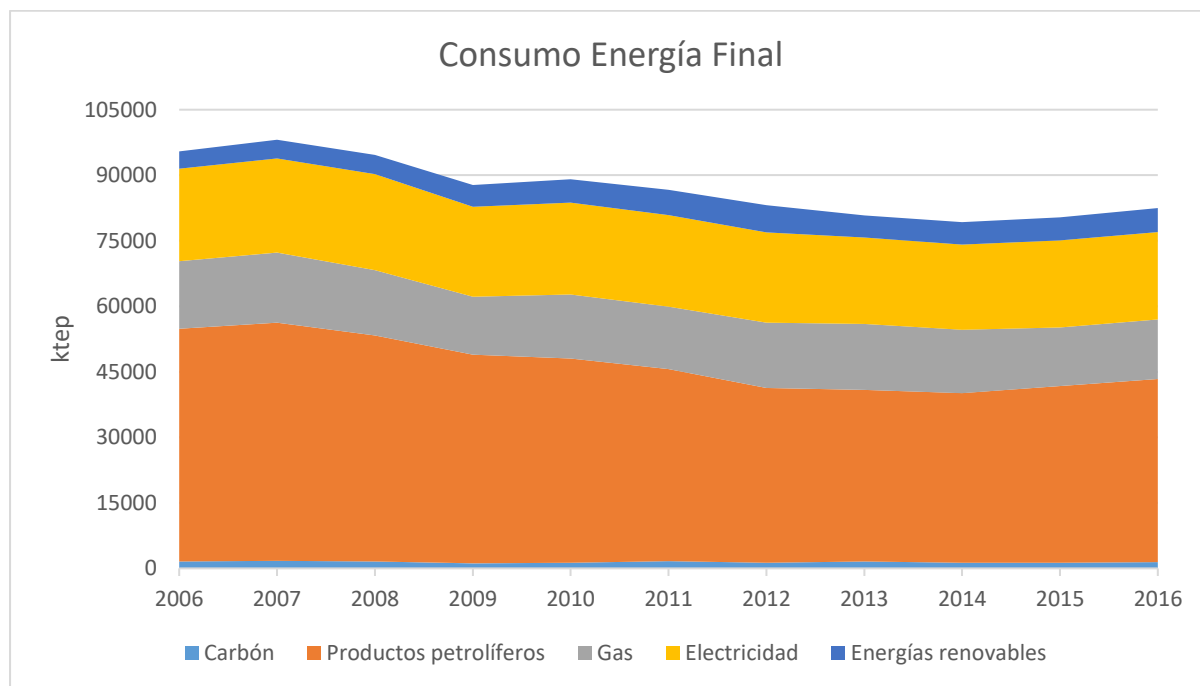


Figura 8. Consumo energía final en España (ktep), excluidos usos no energéticos. 2006-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

Se puede apreciar en dicha evolución una semejanza en cuanto a la energía primaria. Tanto en el año 2016 como en el año 2015 se rompe con la tendencia a la baja iniciada en 2007 de consumo de energía final, mantenida hasta 2014.

El uso de productos petrolíferos experimenta una gran variación en comparación con los primeros años mostrados. Es decir, su uso se va reduciendo, pese a que sigue siendo la principal fuente de abastecimiento de nuestro país. El uso de energías renovables, por el contrario, experimenta un crecimiento notable como fuente de energía. Esto se debe al impulso que se está dando a esta energía, así como a las normativas y acuerdos vigentes en la actualidad para conseguir los objetivos y beneficios en cuanto a desarrollo sostenible.

En los siguientes gráficos, Figura 9, se muestra por un lado el consumo de energía final por fuentes de energía en 2016 y por otro lado el consumo de energía final por sectores en 2016. En los mismos, no se han tenido en cuenta los usos no energéticos. Todos estos datos se encuentran publicados por Eurostat y en la Secretaría de Estado de Energía [6].

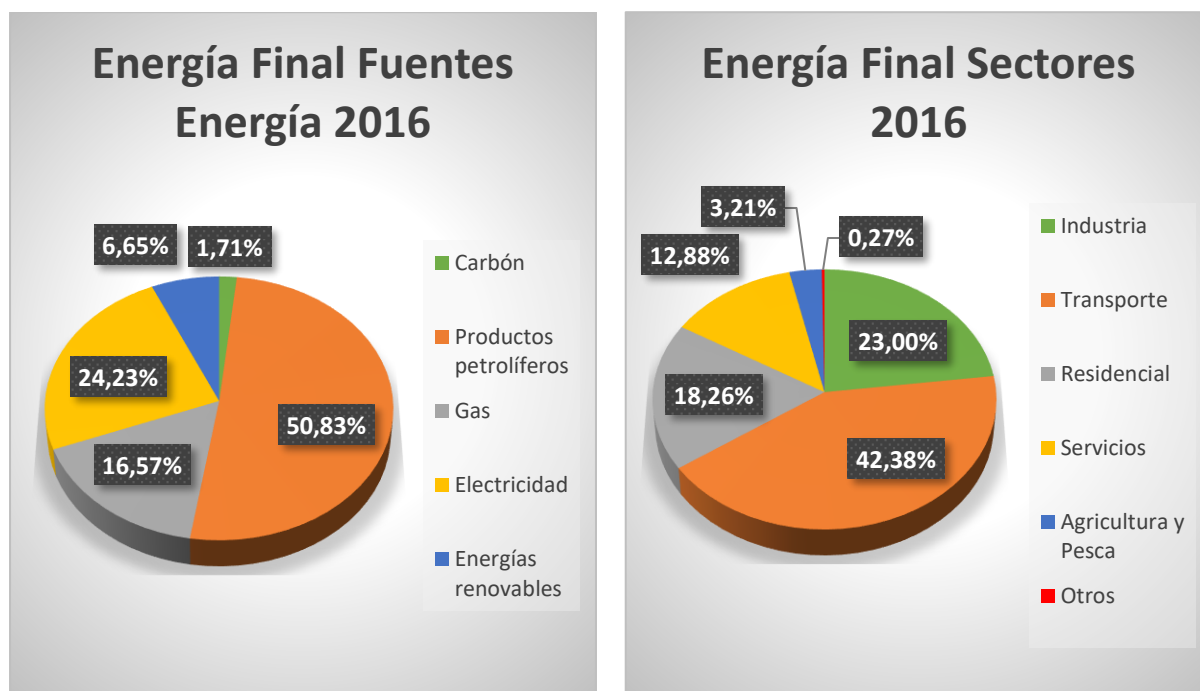


Figura 9. Consumo de energía final por fuentes de energía y por sectores en 2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

En 2016 el consumo de energía final en España, teniendo en cuenta tanto los usos energéticos como los no energéticos fue de 85.745 ktep, un 3,07% superior al consumo del año anterior. Si sólo se tiene en cuenta los usos energéticos, el consumo en España fue de 82.498 ktep, un 2,56% superior. [8]

El aumento del consumo en los dos últimos años es debido principalmente a la mayor demanda de productos petrolíferos y a la electricidad. Representan el 75,05% del consumo global de energía final. Las fuentes de energía como el carbón y las energías renovables también se han visto incrementadas, aunque en menor proporción, y representan, en su conjunto, un 8,36% del consumo de energía final.

La cobertura de la demanda de energía final en 2016 correspondiente a las energías renovables es de un 6,65%, porcentaje algo superior al año 2015. El predominio de productos petrolíferos y del gas natural se debe al sistema sectorial que existe en España. Como se observa en la Figura 9 el sector transporte es el predominante, consumiendo el 42,38% del consumo energético. Este tipo de sector es muy dependiente de los productos petrolíferos y es por esto, que condiciona la demanda energética de los mismos.

2.2.5 Sector residencial

A través de los datos publicados por Eurostat [6] se pueden analizar los diferentes consumos de energía final en el sector residencial durante los últimos años para ver cuál es la evolución del consumo que atañe directamente al usuario. Se toman del balance energético editado en mayo de 2018. En la Tabla 4 se muestra el consumo de energía final en el sector residencial en ktep desde el 2010 al 2016. Están excluidos los usos no energéticos.

Tabla 4. Consumos de energía final por fuentes energéticas del sector residencial (ktep). 2010-2016. Fuente: Adaptado de Eurostat

	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Electricidad	6.507	6.544	6.456	6.110	6.080	6.024	5.989
Calor	0	0	0	0	0	0	0
Gas	4.258	3.412	3.510	3.194	3.094	3.022	3.473
Combustibles sólidos	173	122	110	95	92	89	79
Productos petrolíferos	3.365	2.903	2.750	2.761	2.691	2.997	2.756
GLP	1.387	1.228	1.199	1.140	1.066	1.045	1.080
Otros querosenos	0	0	0	0	0	0	0
Gasóleo	1.976	1.674	1.551	1.620	1.626	1.952	1.676
Energías renovables	2.616	2.646	2.700	2.723	2.752	2.745	2.767
Solar térmica	144	164	178	191	203	218	234
Biomasa	2.463	2.472	2.511	2.520	2.536	2.516	2.521
Geotermia	9	10	10	10	11	11	11
TOTAL	16.919	15.627	15.526	14.883	14.709	14.877	15.064

Como se observa, se produce una disminución de la demanda de energía en el sector residencial hasta el año 2014, con un perfil similar a lo que ocurre con la demanda energética final en España. En cambio, en los dos últimos años analizados, esta demanda se ha incrementado. En el año 2016 el consumo de energía en el sector residencial es de 15.064 ktep, representando un 18,26% del consumo energético total [8]. Si se tiene en cuenta la evolución durante los seis años analizados, la demanda de productos petrolíferos, así como la de gas natural ha descendido notoriamente, aunque cubren el 41,35% de la demanda en los hogares españoles. El consumo eléctrico también ha disminuido, pero en menor medida, representando en 2016 el 39,76% de toda la demanda del sector. Los porcentajes de las fuentes energéticas en el sector residencial en cuanto a demanda energética se pueden observar en la Figura 10.

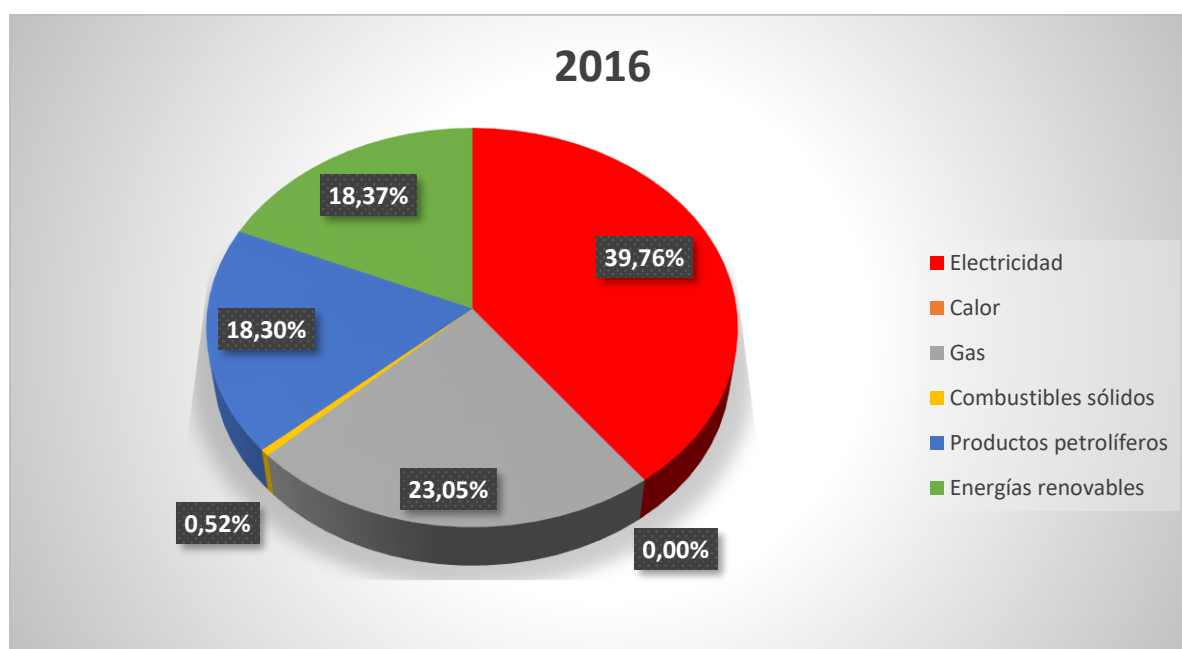


Figura 10. Consumos de energía final por fuentes energéticas del sector residencial (ktep) en 2016. Excluidos usos no energéticos.

Analizando las fuentes energéticas, la mayor parte del consumo energético en el sector residencial es debido a combustibles, tanto de origen fósil como renovable (60,24%) [8]. Esta fuerte demanda de combustibles es provocada por los usos térmicos en el sector residencial, sobre todo el de la calefacción. La calefacción

representa más del 40% del consumo energético total en los hogares españoles. La calefacción emplea principalmente combustibles de origen fósil y recursos renovables. Por tanto, un aumento de la demanda de productos petrolíferos puede ser debida a un mayor consumo en la calefacción, como por ejemplo que ésta se haya utilizado con mayor frecuencia, bajas temperaturas registradas en el invierno. La recuperación económica también influye en este aspecto. Al aumentar la renta en los hogares no se tienen tan en cuenta los hábitos conservadores de consumo de calefacción que se podían tener en años anteriores cuando la crisis económica predominaba.

En la Figura 11 se observa la contribución en el sector residencial de los consumos de energía final por usos en ktep en el año 2015. Están excluidos los usos no energéticos.

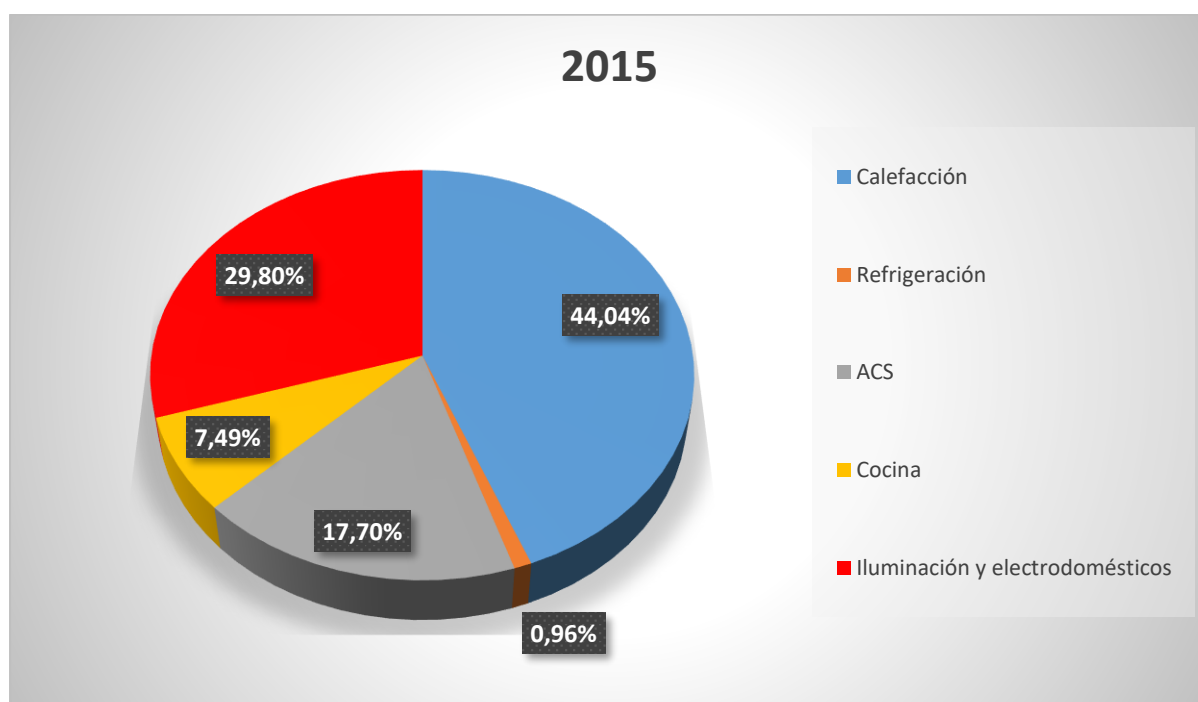


Figura 11. Consumos de energía final por usos del sector residencial (ktep) en el año 2015. Fuente: Adaptado de MINETAD/IDAE/INE

Si bien el factor de intensidad térmica ha ido aumentando en los últimos años debido principalmente a un mayor uso de la calefacción, el factor de intensidad eléctrica ha disminuido. Esto puede deberse al progreso tecnológico en la iluminación y en

equipamiento electrodoméstico. Pero otro factor de esta disminución eléctrica es que los precios de la electricidad y el gas para los consumidores crecen progresivamente desde 2008, siendo mucho más acusados los precios de la electricidad. Esto obliga a tomar medidas a los usuarios moderando el uso de aparatos eléctricos.

2.3 COSTE DE LA ENERGÍA

Los precios de la energía para un consumidor doméstico en España son altos en comparación con otros países de la Unión Europea. El coste de la energía es uno de los grandes problemas existentes en la sociedad española en la actualidad. Pese a ser uno de los países de Europa que dispone de más recursos, la energía es más cara.

El precio de la energía depende de distintos factores relacionados con la oferta y la demanda. Estos pueden ser la situación política de un país, el mix energético nacional, las condiciones meteorológicas, las importaciones, los costes de red, los costes de protección medioambiental y los impuestos nacionales.

En el sector residencial, el coste de la energía se mide principalmente en los ámbitos de electricidad y gas natural. Las tarifas para un consumidor medio se han visto incrementadas un 4,6 % en electricidad y un 6,2 % en gas.

En la Figura 12 se representan los precios de gas natural en la segunda mitad del año 2017 para países miembros de la Unión Europea, en forma de comparativa. Viene dado en [EUR/kWh] y están incluidos todos los impuestos.

Se consideran consumidores domésticos aquellos cuyo consumo anual se encuentre entre los 20 GJ y los 200 GJ.

Como se observa en Figura 12, España junto a países como Suecia, Italia, Dinamarca y los Países Bajos registran los precios de gas más elevados. Estos países se encuentran bastante por encima de la media europea. Mientras que para la Unión Europea el precio de gas se encuentra a 0,0633 EUR/kWh, en España asciende a 0,0865 EUR/kWh [12]. En general, los precios para todos los países miembros

experimentan un crecimiento desde 2010. En el segundo semestre los precios suelen ser más caros que en el primero.

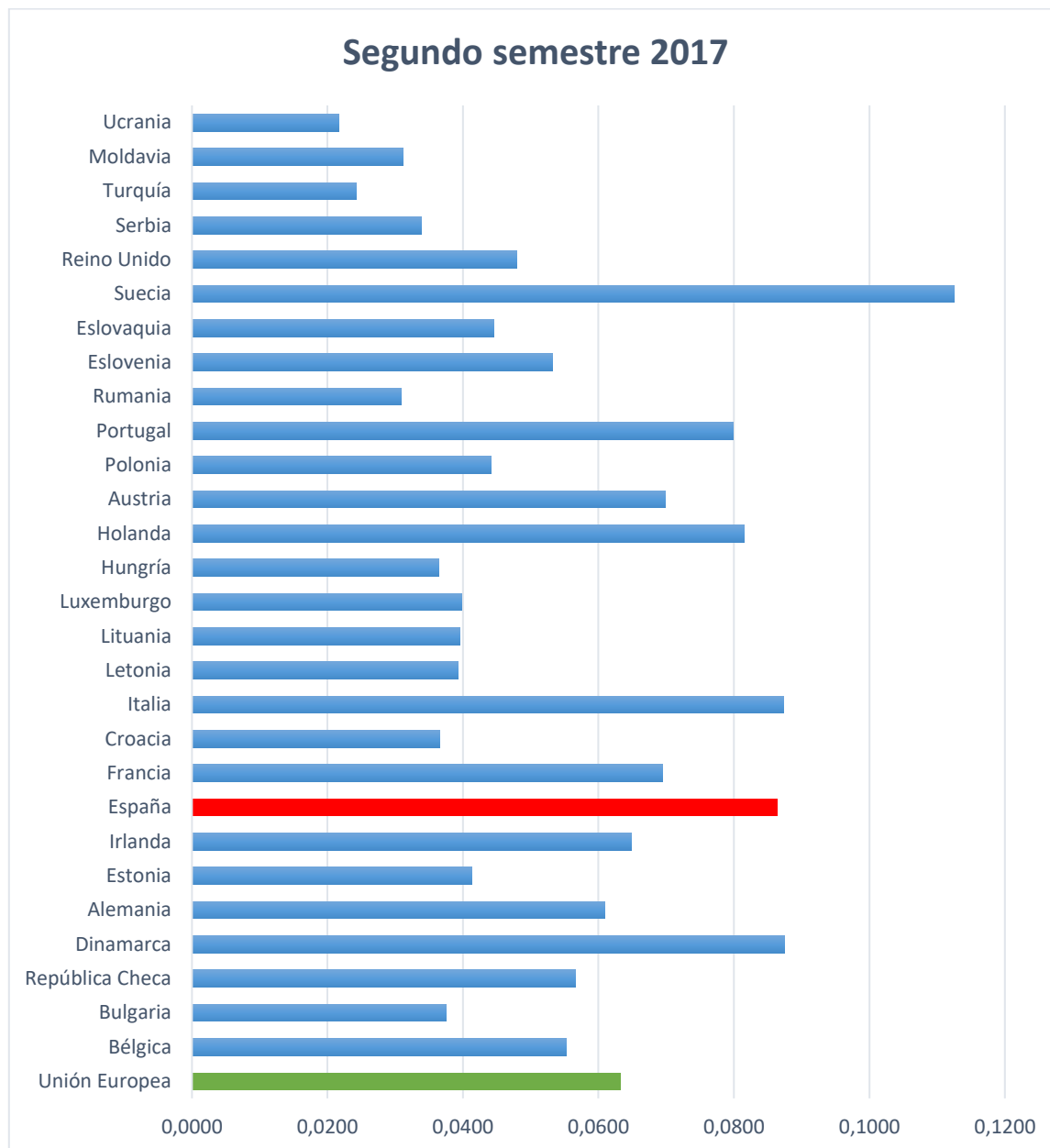


Figura 12. Precios de gas natural para países de la Unión Europea, incluidos tasas e impuestos para la segunda mitad de 2017. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat

Si se atiende a nivel español, en la Figura 13 se representa la evolución de los precios de gas para el segundo semestre de cada año desde el 2013.

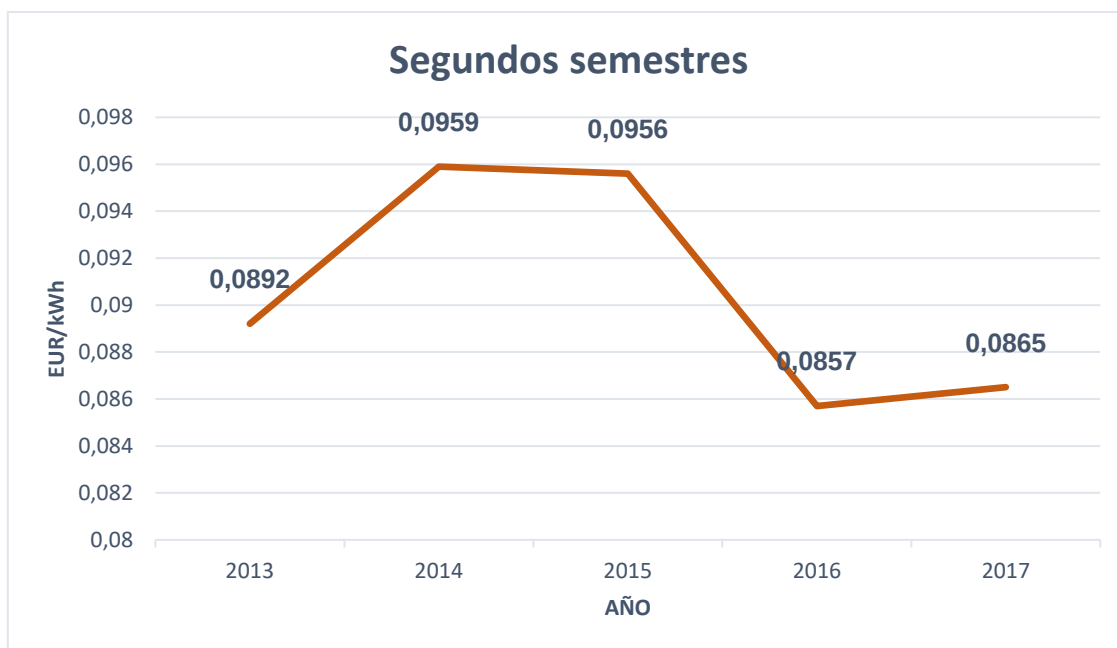


Figura 13. Evolución del precio de gas en España para los segundos semestres del año. En (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat

Como se observa existe una diferencia entre el año 2015 y 2016 en cuanto a precios. El 1 de enero de 2015 se llevó a cabo la revisión de la tarifa TUR (tarifa de último recurso), en la que los precios quedan estandarizados. La tarifa TUR.1, aquella en la que los consumos anuales son inferiores a 5.000 kWh, supuso una rebaja del 2,6 %. La tarifa TUR.2, aplicada a consumos entre los 5.000 y 50.000 kWh, se redujo un 3,24 % [8]. En el 2016 se volvieron a registrar bajadas de precios. En el apartado de anexos, 8.8, se expone el informe de precios energéticos regulados publicados en julio de 2018 por el Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital (IDAE). En este documento aparecen las tarifas marcadas tanto para gas natural como para electricidad.

En la Figura 14 se muestran los precios de electricidad en la segunda mitad del año 2017 para países miembros de la Unión Europea, como muestra comparativa. Todas las tasas e impuestos están incluidos. Las unidades en las que se muestra son [EUR/kWh].

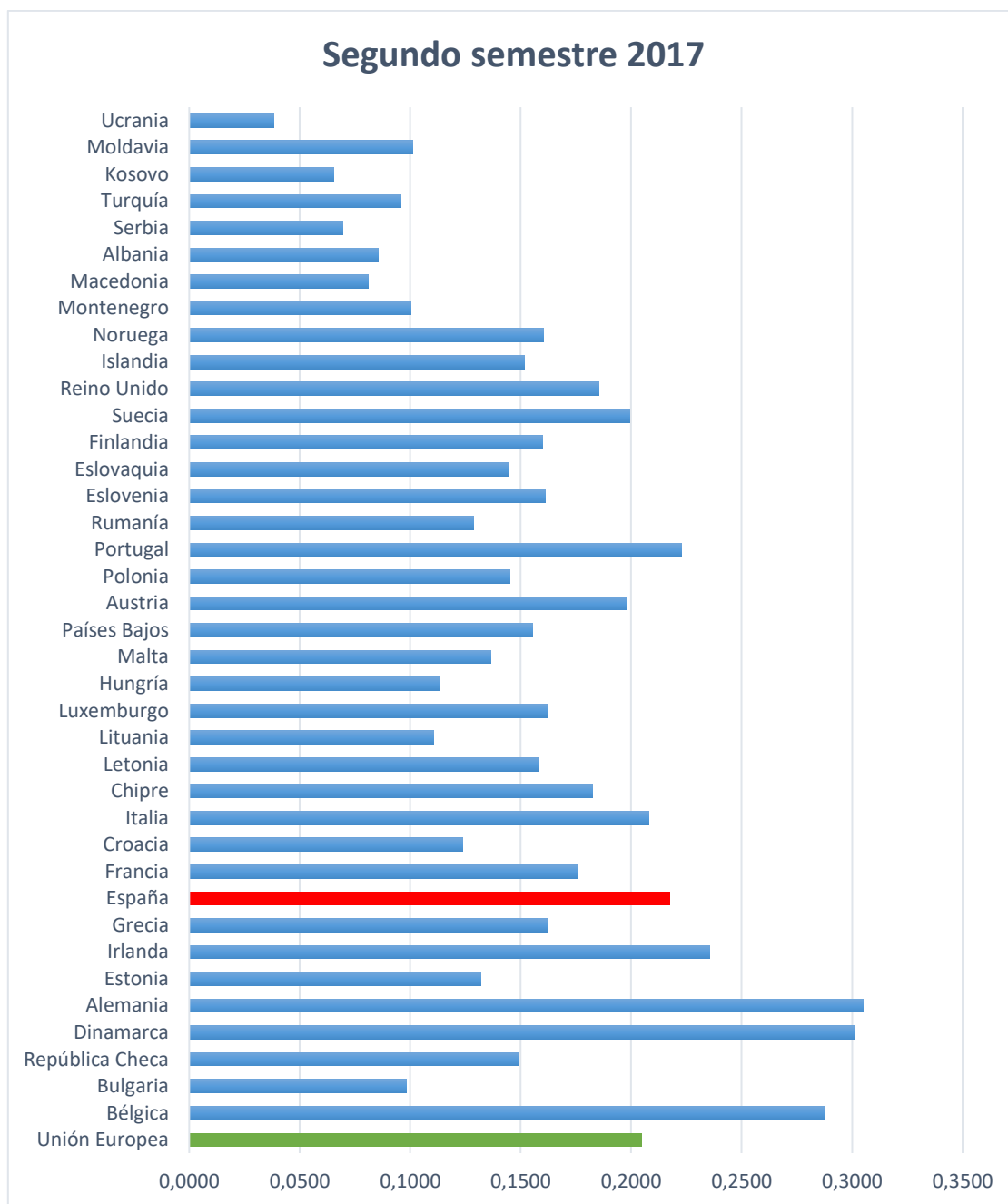


Figura 14. Precios de la electricidad en los países de la Unión Europea, incluidos tasas e impuestos en la segunda mitad del 2017. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat

Se considera consumidores domésticos aquellos cuyo consumo se encuentre entre los 2.500 kWh y los 5.000 kWh. Como se observa en el gráfico los países cuyos precios de electricidad son más elevados son Alemania, Dinamarca y Bélgica, alcanzando 0,3048 EUR/kWh, 0,3010 EUR/kWh y 0,2877 EUR/kWh, respectivamente. La media europea se encuentra en los 0,2040 EUR/kWh, alcanzando España un valor más elevado, 0,2177 EUR/kWh, pero sin llegar a superar

a los países anteriormente mencionados [13]. Los precios de la electricidad se han mantenido al alza desde 2010.

En el caso de España se representa en la Figura 15 la evolución de los precios de la electricidad para el segundo semestre de cada año desde 2013.

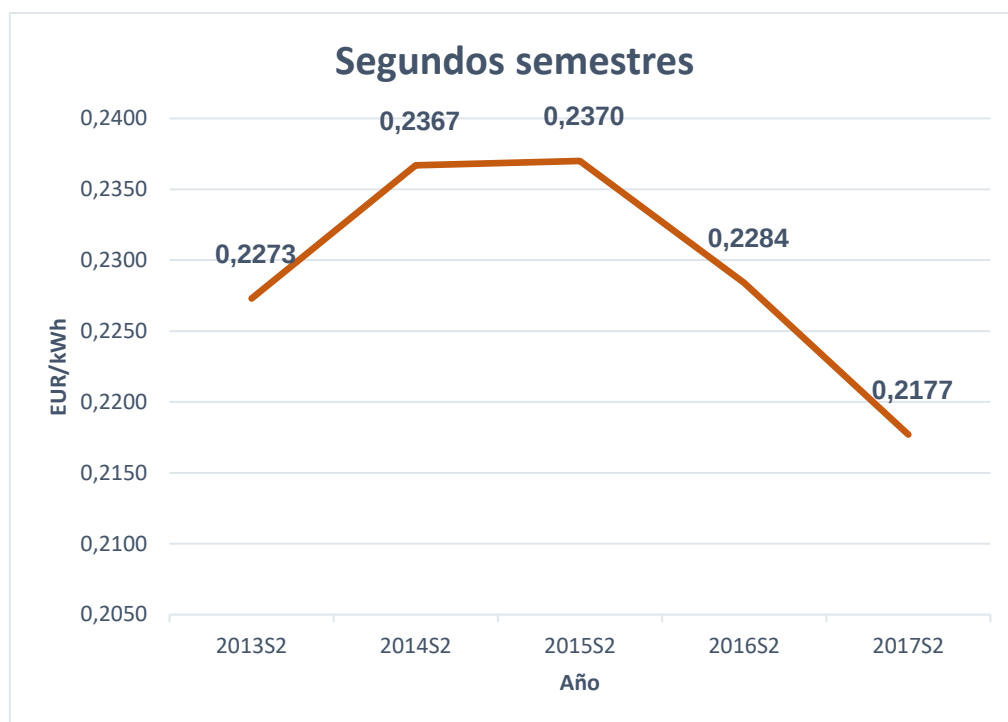


Figura 15. Evolución de los precios de la electricidad en España en el segundo semestre de cada año. (EUR/kWh). Fuente: Adaptado de Eurostat

Aunque en el gráfico se observa una bajada del valor del precio de la electricidad esto tiene sus matices y sólo se corresponde al segundo semestre del año 2017. Es necesario resaltar que el precio de la electricidad varía cada día. Este precio depende de multitud de factores externos y, por lo tanto, es necesario tenerlos en cuenta.

En el anexo 8.8 viene reflejada la tarifa eléctrica con los precios regulados. Se habla sobre el precio voluntario para el pequeño consumidor (PVPC). Esta nueva tarifa sustituye a las tarifas de último recurso aprobadas por la Ley 24/2013, de 26 de diciembre del Sector Eléctrico. El PVPC se calcula siguiendo el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo. Podrán acogerse a este tipo de tarifa aquellos titulares

cuyos suministros no se efectúen a tensiones superiores a 1 kV y con potencia contratada inferior a 10 kW. El PVPC está compuesto por los siguientes términos:

- El término de potencia, referido al término potencia de peaje de acceso, es un valor fijo e igual a 38,043426 €/kW según la Orden IET/107/2014, d 31 de enero. Esta orden revisa los peajes de acceso de energía eléctrica para 2014, pero se ha mantenido en 2018.
- El término de energía, cuyo valor es diferente a cada hora ya que depende del precio medio horario resultante para cada hora en el mercado. [8]

2.4 EFICIENCIA ENERGÉTICA

En la actualidad se produce una gran demanda de energía por diversos factores, y este consumo sigue aumentando a un ritmo vertiginoso. La sociedad vive una continua evolución y progreso y esto conlleva un consumo de energía mucho mayor que hace años.

La eficiencia energética surge con el objetivo de reducir estas grandes cantidades de demanda energética y promueve un uso más eficiente de la energía. Es cierto que en muchas ocasiones se consume más energía de la que en realidad es necesaria. La eficiencia energética consiste en optimizar el empleo de energía y la producción de la misma mejorando los servicios y bienes que ocasiona en la sociedad.

Conocer y manejar la energía de una forma más eficiente puede ocasionar una disminución de costes y promover la sostenibilidad económica, política y ambiental. Para ello es necesario invertir en políticas de eficiencia energética, que permitan cumplir con dichos objetivos. En la Figura 16 se pueden observar los pilares sobre los que se asienta la eficiencia energética.



Figura 16. Pilares sobre los que se asienta la eficiencia energética

Existe en la sociedad la idea de crisis energética, es decir, se plantea el agotamiento de las fuentes actuales, la contribución al cambio climático, así como una pérdida de calidad debida fundamentada en la contaminación. Es por ello que se están promoviendo medidas que favorezcan al medioambiente y reduzcan las emisiones de contaminantes a la atmósfera, las energías renovables. Éstas contribuyen a la denominada eficiencia energética.

Para que las sociedades sigan creciendo es necesario conservar el medioambiente. Se somete al mismo desde hace años a impactos negativos, que son necesarios controlar. El más notorio es el cambio climático por la emisión de gases efecto invernadero a la atmósfera. En las últimas décadas se ha tomado conciencia de ello y han surgido acuerdos como el Protocolo de Kioto y el Acuerdo de París. En el último mencionado, los países desarrollados o en vías de desarrollo se comprometen a que la temperatura media del planeta no supere los 2 °C para el año 2100. Esto supone un gran compromiso entre los países miembros, y será necesario el establecimiento de importantes medidas políticas.

En España se han desarrollado una serie de planes para contribuir a esta eficiencia energética:

- Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020 [9]
- Plan de Acción Nacional en Energías Renovables 2011-2020 [10]

El sector de la edificación es el que supone mayor consumo energético y que mayor impacto tiene en el medio ambiente, como se comentó en apartados anteriores. Es por ello que se han instalado medidas que favorecen la eficiencia energética. Dichas medidas se encuentran redactadas en el Reglamento de Instalaciones térmicas de los Edificios y en el Código Técnico de Edificación mayoritariamente.

Existen normativas europeas creadas para la reducción del gran consumo energético en el sector de la edificación, entre la que destaca la Directiva 2010/31/UE. En ella se pide a los países miembros a tomar medidas para que los edificios públicos y privados construidos a partir de 2018 y 2020 sean de consumo de energía casi nulo. En España esta directiva se colocó en el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, por el que se aprueba el procedimiento básico para la certificación de la eficiencia energética de los edificios. Este decreto es modificado y se constituye el Real Decreto 564/2017, de 2 de junio, vigente en la actualidad. El CTE [24] define edificio de consumo de energía casi nulo como: *“Edificio que cumple con las exigencias reglamentarias establecidas para edificios de nueva construcción en las diferentes secciones de este Documento Básico”*. En el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, se redacta lo siguiente:

- El 31 de diciembre de 2020, los edificios de nueva construcción serán de consumo de energía casi nulo.
- Después del 31 de diciembre de 2018, los edificios nuevos que vayan a estar ocupados y sean públicos, serán edificios de consumo de energía casi nulo.

Esta normativa obliga a facilitar un certificado de eficiencia energética del edificio o vivienda. De esta forma, se comprueba que la vivienda cumple con los requisitos mínimos de eficiencia establecidos en el Código Técnico de Edificación. El certificado

incluye la calificación energética del mismo, expresada en kg de CO₂/(m²·año). En el apartado 2.7, se detalla esta cuestión.

Las medidas para mejorar la eficiencia energética de los edificios deben prestar atención a las condiciones climáticas y a las características del local, así como el entorno ambiental y la relación existente entre el coste y la eficacia. Es exigible que los materiales de construcción y las instalaciones de calefacción refrigeración y ventilación sean diseñadas para usar la menor cantidad de energía posible.

Es importante destacar que en las normativas vigentes existen diferentes medidas para edificios de nueva construcción o los ya existentes. En los edificios de nueva construcción, previamente es necesario realizar un estudio de viabilidad técnica, económica y ambiental de instalaciones de alta eficiencia. Sin embargo, en los edificios ya existentes se realizan reformas de elementos del mismo para aumentar su rendimiento. Esto no significa que se renueve la totalidad del edificio, si no que puede limitarse a aquellas partes que tengan más relevancia para la eficiencia energética y la rentabilidad.

Como se ha comentado en el apartado 2.2.5, el factor que tiene mayor relevancia en el consumo energético de los edificios es la calefacción. Por lo tanto, la reducción de dicho consumo es uno de los objetivos prioritarios en cuanto a la eficiencia energética. En la Ecuación (2) viene reflejado dicho consumo.

$$\text{Consumo energía (kWh)} = \frac{\text{Demanda energía (kWh)}}{\text{Rendimiento}} \quad (2)$$

El consumo se puede reducir, aumentando el rendimiento de los equipos o bien reduciendo la demanda de energía. Esta demanda se puede reducir si el edificio dispone de una buena envolvente térmica. Es decir, el calor es evacuado del interior de la vivienda a través de dicho elemento.

En definitiva, para fomentar la eficiencia energética será necesario aplicar las normativas vigentes sobre este recurso, así como tener un conocimiento previo sobre factores involucrados en la misma.

2.5 SISTEMAS DE CALEFACCIÓN

Existe una variedad de elementos que sirven para calentar o crear un ambiente de confort adecuado en el interior de las viviendas. En función del tipo de vivienda que sea, el número de ocupantes y el uso que se le dé a la estancia, serán más adecuados ciertos métodos que otros. En este apartado se comentarán los aspectos más comunes en la instalación de calefacción individual en un local o vivienda.

Cabe destacar que este tipo de instalaciones debe cumplir con unos requisitos indicados en la Ley de Ordenación de la Edificación (LOE) de seguridad, calidad y eficiencia energética. Es importante que no se produzcan accidentes o riesgos de ningún tipo como consecuencia de la puesta en servicio de algún tipo de instalación. Se debe cumplir las condiciones de bienestar de los ocupantes de los edificios (calidad ambiente térmico, calidad del aire, calidad acústica e higiene) [20]. Todo ello debe cumplirse bajo la idea de eficiencia energética que se basa principalmente en este tipo de instalaciones en la reducción de emisiones de contaminantes a la atmósfera.

2.5.1 Calderas

Las calderas pueden ser clasificadas atendiendo a varios criterios: según el tipo de combustible, por la limitación de la temperatura de retorno, por la forma de combustión y evacuación de humos y por los servicios cubiertos [21].

Combustible

Las calderas más en auge en la actualidad son las de biomasa. Permiten reducir las emisiones de contaminantes, pero su número sigue siendo escaso. Las más utilizadas en viviendas en España son las murales de gas natural o las calderas de pie de gasóleo o gas natural.

Temperatura de retorno

Según Directiva 92/42/CEE. Se clasifican atendiendo al rendimiento de generación al 100 % y al 30 % de la carga, pero atendiendo a las temperaturas de retorno de la caldera.

- Caldera estándar: Trabaja con temperaturas de retorno (50 °C) superiores a la temperatura de rocío de los humos, para que no se produzca condensación en su interior.
- Caldera de baja temperatura: Temperaturas de retorno del agua (40°C) inferiores a la temperatura de rocío de los humos. Sin condensación.
- Calderas de condensación: Temperaturas de retorno lo más bajas posible (30 °C), de manera que se aproveche el calor de condensación de los humos.

Forma de combustión

- Quemadores atmosféricos: Combustible gaseoso. El aire accede a la cámara de combustión por el “efecto Venturi” a través del inyector a la tobera del quemador.
- Quemadores premezcla: Combustible gaseoso. La mezcla de aire/gas es forzada con un ventilador para que acceda a la cámara de combustión.
- Quemadores mecánicos o de sobrepresión: Combustible gaseoso o líquido. A través de un ventilador se introduce el aire adecuado a la potencia a disipar y, a su vez, es capaz de vencer las pérdidas de carga (sobrepresión).

Toma de aire de combustión

- Cámara abierta: La cámara está en contacto directo con el aire del local.
- Cámara cerrada: A través de un conducto toma el aire del exterior, por lo que la cámara no se encuentra en contacto directo con el aire del local.

Evacuación de humos

Una vez que los productos de la combustión han cedido su calor al agua en el interior, es necesario expulsarlos hacia el exterior. Existen dos formas.

- Tiro natural: Al tener mayor temperatura los productos de la combustión, que el ambiente, tienen diferente densidad y por tanto experimentan una fuerza ascendente que los envía al exterior. Es capaz de vencer las pérdidas de carga.
- Tiro forzado: el tiro natural no es capaz de vencer las pérdidas de carga del recorrido, por lo que necesita de ventiladores.

Servicios cubiertos

- Caldera de calefacción: Dispone de un único circuito en el que la calefacción puede ser conectada.
- Caldera de calefacción y ACS: Son las más comunes en cuanto a instalación en viviendas en la actualidad. Proporcionan los dos servicios al mismo tiempo. Algunas disponen de un acumulador de ACS, permitiendo mantener un margen de consumos.

El Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios establece en 2013 ciertas exigencias en la generación de calor con el fin de cumplir los objetivos de eficiencia energética y reducir las emisiones de contaminantes. Para edificios de nueva construcción las calderas que utilicen gas como combustible deben cumplir [20]:

- a) Rendimiento a potencia nominal y a una temperatura del agua en la caldera de 70 °C → $\eta \geq 90 + 2 \log P_n$
- b) Rendimiento a carga parcial, $0,3 \cdot P_n$, y a una temperatura del agua en la caldera igual o superior a 50°C → $\eta \geq 97 + \log P_n$

Desde el 2010 las calderas de gas han de ser de Tipo C, ya que las calderas atmosféricas y en general las calderas de Tipo B de cámara abierta han quedado prohibidas [21].

2.5.2 Emisores de calor

La función de las calderas es proporcionar calor a través de diversos combustibles. Este calor se transfiere a las estancias del hogar a través de unos emisores de calor entre los que destacan: radiadores, ventilo-convectores y superficies radiantes. A continuación, se explicarán estos tres tipos de emisores, dando especial importancia a los radiadores, los elementos más comunes en las viviendas.

Los ventilo-convectores suelen denominarse radiadores de baja temperatura. Estos son instalados fijos a la pared o al suelo y disponen de llaves que permiten abrir o cerrar el circuito del agua. Trabajan con temperaturas entre 45 °C y 60 °C, inferiores a las de los radiadores. Presentan un ventilador que acelera el paso del aire. Debido a la convección forzada, proporcionan potencias elevadas con temperaturas inferiores a los radiadores convencionales. [21]

En cuanto a las superficies radiantes se refiere a las paredes, el suelo o el techo. La opción más extendida en la actualidad son los suelos radiantes. Consiste en ofrecer una gran superficie a una temperatura baja, proporcionando condiciones de confort de forma más homogénea. Esto se consigue gracias a un sistema de tuberías que se coloca normalmente sobre la totalidad de superficie del pavimento del local. Se trabaja con temperaturas entre 40 °C y 45 °C. La temperatura del suelo no debe superar los 29 °C [21].

Los radiadores son unos dispositivos metálicos que se instalan en el interior de la vivienda y en cuyo interior circula el agua caliente generado por la caldera. El calor emitido por los mismos puede ser a través de la convección y a través de la radiación. La proporción entre estas dos características depende del tipo de radiador instalado [14]. Una de las ventajas del uso de radiadores frente a otro tipo de emisores es que

al disponer una parte de emisión de calor en forma de radiación no se producen movimientos del aire ni estratificación, ocasionando un mayor confort a los ocupantes. Por lo general, los radiadores presentan una baja inercia térmica, permitiendo que se adapten con rapidez a las condiciones del local.

Una de las partes importantes de los radiadores es conocer la emisión calorífica de los mismos. Es un factor que depende de la temperatura de entrada y de salida al mismo, así como de la temperatura a la que se encuentre el local. Se muestra en la Ecuación (3) [21].

$$\Phi = K_M \cdot \Delta T^n \quad (3)$$

Siendo:

- $\Phi \equiv$ Potencia calorífica del radiador (W)
- $K_M \equiv$ Constante propia de cada radiador
- $n \equiv$ Exponente de la curva característica de emisión calorífica del radiador.
- $\Delta T \equiv$ Diferencia de temperatura entre la media del radiador y la del ambiente del local.

La potencia o emisión térmica de un radiador viene establecida en la normativa europea UNE-EN 442 [15]. Define en qué condiciones ha de ensayarse un radiador y las potencias emitidas en unas condiciones estándar. Estas condiciones quedan reflejadas en la Tabla 5.

Tabla 5. Condiciones de ensayo de los radiadores según

Temperaturas de ensayo (°C)			
Ambiente	Entrada	Salida	ΔT
20	75	65	50

La potencia emitida para diferentes condiciones a las mostradas anteriormente se calculan a través de la Ecuación (4) [21].

$$\Phi = \Phi_{50K} \cdot \left(\frac{\Delta T}{50}\right)^n \quad (4)$$

En la Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual [21] se expone una tabla con factores correctores para el cálculo de la potencia calorífica del radiador para diferentes coeficientes característicos de emisión. En el apartado de anexos, 8.7, se muestra esta tabla.

Es necesario destacar que en la modificación del RITE en 2013, en la IT 1.2.4.1.2.1. Requisitos mínimos de rendimientos energéticos de los generadores de calor, se cambió la temperatura media de los radiadores: “*Los emisores deberán estar calculados para una temperatura media de emisor de 60 °C como máximo.*” [20]. Esto supone un salto térmico de 40 °C.

Independientemente del radiador que sea instalado en tu vivienda viene definido en el catálogo la curva característica del mismo. Esto quiere decir que el radiador no se comporta de la misma forma si presenta una temperatura mayor o menor. Es una curva exponencial y viene determinada por el factor n . Una representación de esta curva se puede observar en la Figura 17.

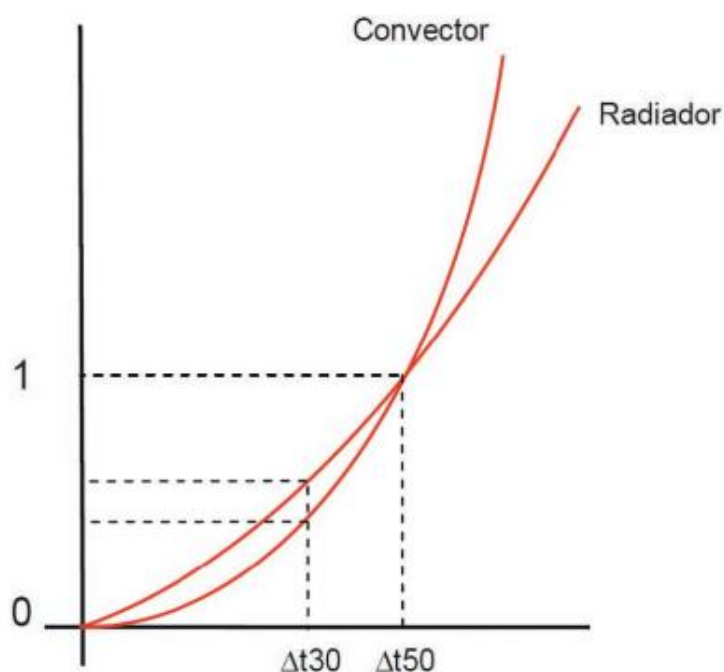


Figura 17. Representación de la curva característica del comportamiento de un radiador. Fuente: [14]

Los radiadores deben fijarse a la pared, y no estar sujetos por las tuberías. Es importante que, en una instalación de radiadores, cada uno de ellos disponga de una válvula de reglaje para poder aislar un radiador y no interrumpir el servicio de la instalación.

Los radiadores se pueden clasificar en los siguientes tipos según el material con el que se construyen [14]:

- Acero: Tienen una velocidad de respuesta alta. Exponentes entre 1,30 y 1,32.
- Aluminio: Tienen una velocidad de respuesta alta. Exponentes entre 1,30 y 1,34.
- Hierro fundido: Velocidad de respuesta media. Exponentes entre 1,26 y 1,31.

Según la forma constructiva [21]:

- Elementos
- Paneles
- Tubos

2.6 ANÁLISIS DE DISPOSITIVOS PARA LA GESTIÓN DOMÉSTICA DE LA CALEFACCIÓN

Una de las palabras más en auge y en boca de todos en los últimos años es el termostato. Se escucha las novedades de los mismos, los diferentes tipos que existen y las ventajas o desventajas de instalar uno u otro. Los términos relacionados con la climatización adquieren mayor importancia y están más presentes en los medios de comunicación. Disponer de un termostato que facilite el confort y, además, pueda generar un ahorro del consumo energético es el deseo de muchas personas para sus viviendas.

Un termostato es un dispositivo que permite el control o regulación de la temperatura de la habitación donde se encuentre emplazado en función de una temperatura de consigna establecida. Es decir, permite disminuir o aumentar la temperatura de un espacio o zona. La persona indica la temperatura a la que quiere que se encuentre la

vivienda, temperatura de consigna, de manera que cuando se alcance dicha temperatura no se proporcione más calor a la vivienda para no superar dicho límite. El foco que genera calor es desactivado.

El termostato es un elemento de medición que tiene múltiples funciones. Puede utilizarse tanto para calefacción como para refrigeración, pero también en electrodomésticos o experimentos genéticos. Por tanto, es necesario que tenga la capacidad de adaptarse a diferentes espacios y características. Desde el uso en hogares hasta a nivel industrial, comercial y científico.

Existen diferentes clases de termostatos como, por ejemplo, analógicos y digitales, y pueden fabricarse de manera sencilla o necesitar diferentes tipos de componentes que requieran una construcción más compleja. Los termostatos digitales sirven para mantener la temperatura en sitios de vital importancia como en saunas, calderas industriales, incubadoras, etc.

Existe un tema controvertido en los últimos años acerca de este tipo de dispositivos. Los últimos modelos lanzados al mercado son los denominados “smart thermostat”, termostatos inteligentes. Los fabricantes atribuyen a los mismos una capacidad de aprendizaje de este tipo de dispositivos. Con un termostato inteligente, que una familia en su vivienda consiga un determinado ahorro se lo atribuyen a la parte inteligente de estos dispositivos, a su capacidad de aprender las características de la vivienda donde se encuentre instalado y a gestionar el encendido y apagado de una manera eficiente. Pese a estas indicaciones, lo cierto es que no se ha encontrado ningún estudio en el que se trate el tema del comportamiento o aprendizaje de los termostatos inteligentes. Pero, ¿de verdad este tipo de dispositivos tienen inteligencia, capacidad de aprendizaje? ¿Son los termostatos capaces de asimilar información igual que un ser humano?

Los seres humanos se caracterizan por disponer de dos tipos de información: la información genética que viene incorporada en el ADN y se hereda y la información cultural que es producida por el cerebro y se aprende y comparte de manera social. La primera de ellas procesa la información de forma lenta, en cambio la segunda la procesa más rápido lo que puede ocasionar dificultades en la transmisión y

almacenamiento de la misma. De ahí surgen los “cerebros artificiales”, que son los ordenadores capaces de ayudar al ser humano a almacenar toda esa información [16].

La información tiene una señal pragmática. Esto quiere decir que tiene la capacidad de alterar o modificar el estado en el que se encuentra inicialmente el receptor. El lenguaje humano posee tres tipos de información pragmática.

- Descriptiva: ofrece una reseña, una exposición de lo que se ve en el mundo, de cómo es el mundo.
- Valorativa; ofrece una reflexión de una situación. Indica la manera de actuar ante un problema.
- Práctica: ofrece unas pautas a ejecutar ante un problema, es decir, informa sobre lo que hay que hacer.

Pero el ser humano no es el único en registrar toda esa información. Jesús Mosterín en su libro titulado *La cultura humana* compara la capacidad de los seres humanos con la de un termostato [17]. Indica que en un termostato se pueden encontrar estos tres tipos de información. Por un lado, la información descriptiva se puede observar en la medición de la temperatura de un ambiente que realiza el termostato. Se trata de la obtención de un dato del entorno, por tanto, es descripción. En cuanto a la información valorativa, un termostato se programa para activarse cuando la temperatura del lugar sea la mínima admisible y, al contrario, se desactiva cuando se alcanza un valor de temperatura más elevado, el máximo admisible. El intervalo entre la temperatura mínima y máxima admisible es el objetivo o el ideal que el termostato trata de alcanzar. Además de esto, un termostato tiene la capacidad de encender o apagar otros dispositivos, como la caldera de calefacción en función de la temperatura que consigue medir. Se trata de una acción a realizar y por tanto comprende la información práctica. Con esta descripción del tratamiento de la información se puede concluir que las máquinas y los seres humanos no son tan diferentes.

2.6.1 Evolución histórica

La evolución tecnológica que experimenta la sociedad en la que vivimos crece a pasos agigantados. A medida que pasan los años los avances tecnológicos adquieren mayor importancia y son más notorios. La sociedad se interesa por esta evolución y proporciona su ayuda para el progreso.

Las oportunidades de desarrollo, así como la globalización surgen con la revolución tecnológica. La innovación extremista da lugar a la entrada de un nuevo producto capaz de adaptarse a una nueva industria. A partir de la inclusión en el mercado de dicho producto se inspeccionan posibles novedades a incluir en el mismo para mejorar la calidad del producto, la productividad del proceso y la situación de los productores en el mercado [18].

Con el paso del tiempo los productos que se crean son más innovadores, con mayor tecnología, potencia y de un menor tamaño. De la misma forma que los productos, la sociedad evoluciona con ellos ya que los recursos que necesita o el alcance al que pretende llegar ya no son los mismos que anteriormente. Lo que necesita son mejores prestaciones, mayor comodidad y confort, cualidades que les puede aportar la nueva tecnología. Además de mejorar su calidad de vida, y encontrar facilidades, necesitan una estabilidad económica, sobre todo en la situación en la que se vive actualmente. Los nuevos productos tecnológicos, aunque requieran determinadas inversiones en un principio, si a lo largo de su ciclo de vida van a proporcionar un beneficio económico a las personas que lo poseen o un determinado ahorro, son deseados por la sociedad.

Desde su invención el termostato ha sufrido una serie de cambios radicales en su funcionamiento y diseño que lo han hecho más eficaz y práctico, manteniendo el confort y las comodidades a los usuarios.

El primer acontecimiento donde se trató la idea de confort térmico tuvo lugar en la Antigua Roma. El ingeniero Cayo Sergio Orata que ideó un tipo de sistema de calefacción por suelo denominado *hipocausto*, el cual se puede ver en la Figura 18. Principalmente fue utilizado en las termas del Imperio Romano. Calentaba las aguas

termales a unos 60°C y controlaba los caudales de las mismas mediante compuertas. De esta forma conseguía mantener una temperatura deseada.

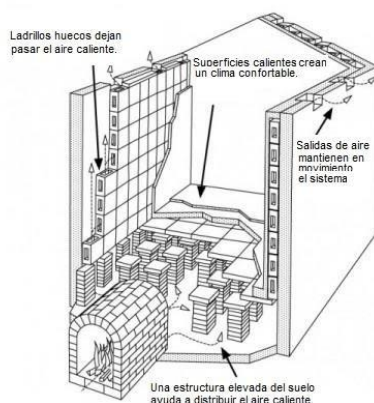


Figura 18. Hipocausto romano. Fuente: nergiza.com

Aproximadamente en el año 1620 el holandés Cornelius Drebbel, creó un horno para incubar huevos con un termostato de mercurio permitiendo que la temperatura estuviese controlada y aproximadamente constante. Además, poseía un regulador de tiro, es decir, un tubo que dejaba pasar el aire caliente. Se trata del primer sistema de control de temperatura del que se tiene referencia. Muchos lo consideran como la primera máquina inteligente de la historia.

En 1830, el físico y químico escocés Andrew Ure, debido al continuo contacto y exposición con las fábricas textiles, le llevaron a considerar métodos de ventilación y calentamiento. Fue el pionero en inventar y describir el funcionamiento de un termostato bimetálico, con el que pudo controlar automáticamente y mantener la temperatura de las calderas de vapor de dichas fábricas, aumentando la producción de las mismas.

Warren Seymour Johnson era un profesor americano que estaba preocupado por su incapacidad para poder regular la temperatura de las aulas donde daba clase. En 1883 desarrolló un termostato, al cual bautizó con el nombre de “electric tele-

thermoscope". Era un termostato en espiral bimetalico con un interruptor de mercurio, el cuál podía usarse para hacer sonar una campana que alertase a un bombero y pudiese abrir o cerrar el regulador de tiro [19]. En la Figura 19 se puede observar este tipo de termostato. Pero la contribución más importante que hizo Johnson al control de temperatura fue el sistema automático de control de temperatura multizona. Era un sistema neumático que utilizaba un termostato bimetalico para controlar el flujo de aire a través de una boquilla y poder operar un regulador. Este sistema de temperatura se adoptó para edificios, colegios, hospitales y hoteles.

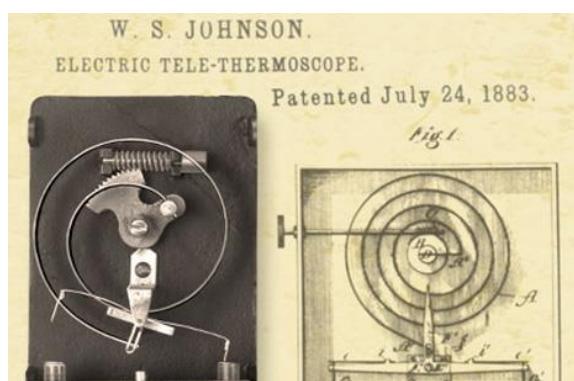


Figura 19. Termostato ambiental eléctrico [19]

Sobre el año 1885, el inventor suizo Albert Butz, patentó el primer regulador de temperatura para hornos de carbón controlado por un termostato eléctrico. Era un dispositivo que mantenía la temperatura de un horno constante. Consistía en una lámina metálica que en función del calor del fuego que hubiese, se contraía o dilataba. Además, la puerta de dicho horno se controlaba con un sistema de poleas acoplado al sistema anterior. Cuando la temperatura alcanzada por el horno era máxima, se cerraba la puerta para no dejar pasar el aire y aminorar el fuego. Por el contrario, cuando se llegaba a la temperatura mínima se abría la puerta del horno para permitir la entrada de aire y avivar el fuego. Albert Butz fue pionero en un sistema llamado "*damper flapper*" que controlaba de manera automática el tiro de las calderas de carbón permitiendo subir o bajar la temperatura. Se puede observar en la Figura 20.



Figura 20. Damper flapper por Albert Butz. Fuente: power-engineering

Como se muestra en Figura 21, en 1906 un ingeniero llamado Mark Honeywell compró la patente de Butz y desarrolló el primer termostato programable que poseía un reloj. El usuario bajaba la temperatura de consigna por la noche y el reloj la configuraba de nuevo por la mañana.



Figura 21. The Jewell, primer termostato programable. Fuente: honeywell.com

Años más tarde se incorporó otro reloj, de manera que estaba constituido por dos relojes. Uno de ellos dejaba la temperatura baja, mientras que el otro la subía. Tuvo un gran éxito, sobre todo en edificios comerciales.

Continuando con avances en los modelos ya existentes, en 1924 se construyó el primer termostato que poseía una luz que mostraba si la caldera estaba encendida.

Más tarde, en 1934, se sustituyeron los modelos anteriormente explicados por los termostatos con reloj eléctrico.

Sobre la década de los 50, se empezaron a comercializar en masa los primeros termostatos con ruleta que han seguido produciéndose hasta la actualidad. En 1960 surgieron dos tipos de termostatos nuevos hasta la época. El primero de ellos contaba con un temporizador de cuerda para permitir el retroceso nocturno semiautomático. El segundo de ellos fue el primer termostato empleado para calefacción y enfriamiento. En la Figura 22 se puede observar el primer termostato empleado para calefacción/refrigeración.



Figura 22. Primer termostato para calefacción/refrigeración. Fuente: honeywell.com

Sobre los años 80 vieron la luz los primeros termostatos con displays digitales, integrados por circuitos electrónicos que permitían poder programar por horas o días de la semana las características térmicas deseadas por el usuario. Dichos dispositivos se fueron modificando hasta el punto de poder controlar, además de la temperatura, la humedad, ventilación, etc.

Finalmente, la evolución de los termostatos ha culminado en los denominados termostatos inteligentes, que se comercializan hoy en día. Disponen de una amplia variedad de funciones, en la que está incluida la conexión a Internet. De esta forma, el usuario puede saber en todo momento la temperatura a la que se encuentra su vivienda, así como el consumo que supone su instalación.

En la Figura 23 se puede apreciar un esquema del tiempo en el que se observa la evolución histórica de los termostatos, desde sus inicios, hasta finalmente, nuestros días.

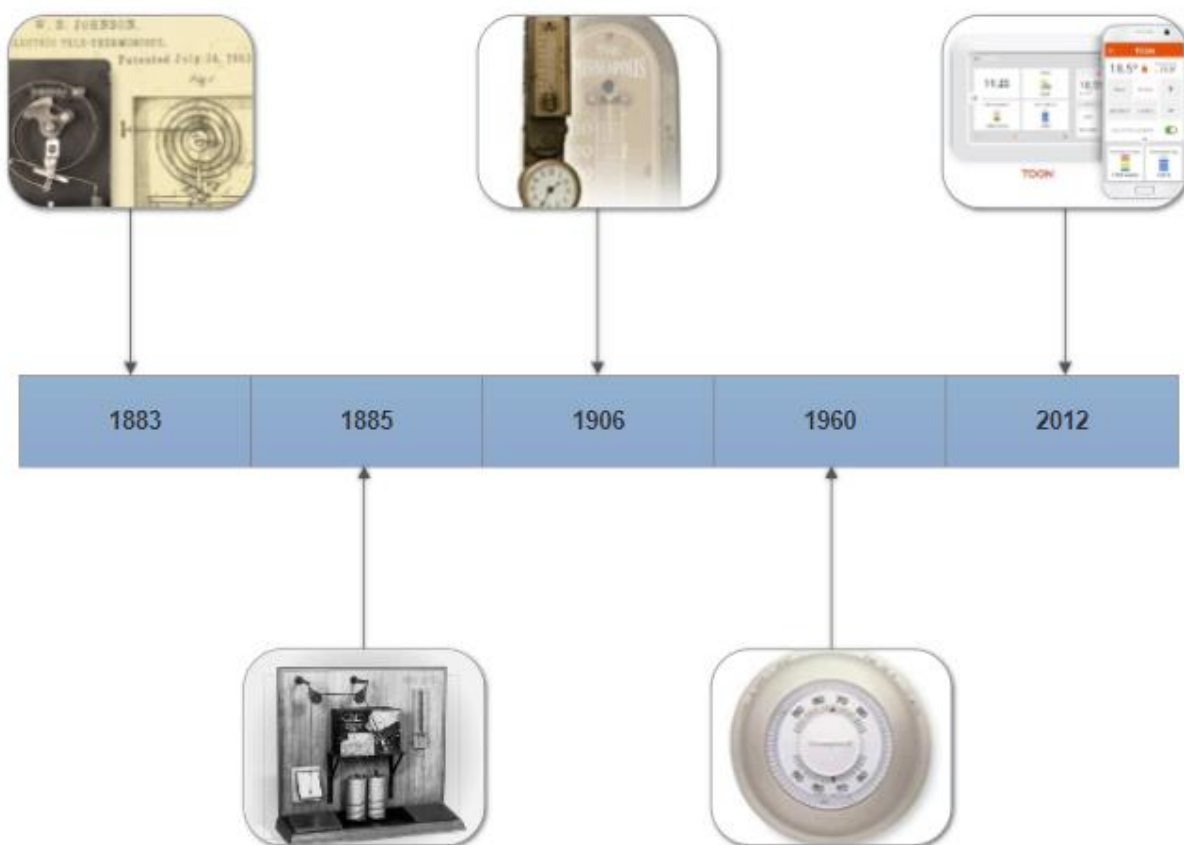


Figura 23. Línea del tiempo que caracteriza la evolución de los termostatos

2.6.2 Tipología

En un principio se puede realizar una clasificación global de los tipos de termostatos que se pueden encontrar: mecánicos o digitales. Los termostatos mecánicos emplean distintos tipos de sensores (tiras bimetálicas, tubos de aire, bolitas de cera, etc.) que suben o bajan la temperatura del local mediante la reacción a los cambios de temperatura, contrayéndose o expandiéndose. Por otro lado, los termostatos digitales son los más comunes actualmente. En vez de utilizar mecanismos físicos utiliza sensores electrónicos para controlar las variaciones de temperatura. En función de la

temperatura registrada por dichos sensores, realizan los cambios necesarios para encender o apagar la calefacción/refrigeración y de esta manera controlar la temperatura.

Actualmente nos podemos encontrar distintos tipos de termostatos de calefacción en el mercado. Algunos llevan implantados años en nuestros hogares y otros están empezando a instalarse. A continuación, se expondrán aquellos más comunes.

- Termostatos analógicos: Son los termostatos convencionales y que actualmente no son muy usuales debido a que han sido sustituidos por otros más innovadores. A pesar de esto, todavía se pueden encontrar en bastantes viviendas. Poseen una rueda con una escala de temperatura asociada. El usuario puede subir o bajar la temperatura haciendo girar dicha rueda. Dichos termostatos tienen la capacidad de encender o apagar la caldera en función de si se llega o no a la temperatura de consigna. Normalmente son instalados en la parte de la vivienda que posee mayor carga térmica, es decir, en el habitáculo más importante de la misma. Su precio de venta resulta económico y su instalación es sencilla. Además, el funcionamiento del mismo es el más simple que se puede encontrar en el mercado. El inconveniente que pueden tener dichos termostatos es que la tecnología de la que disponen es limitada, y puede que no tengan una precisión muy exacta.
- Termostatos digitales: Comercialmente hablando este tipo de termostato ha desbancado a los termostatos analógicos. Como la medición de la temperatura y su funcionamiento se lleva a cabo mediante sondas y dispositivos electrónicos, resultan mucho más precisos que los anteriores. Observando un ejemplo de termostato digital en la Figura 24 , estos disponen de una pantalla donde se visualiza la temperatura a la que se encuentra el local, y donde se puede fijar la temperatura de consigna a la que se quiere llegar. Al poder ajustar la temperatura de forma más exacta resultan más eficientes ya que solo se consume lo que se necesita, hasta donde el usuario quiere. Al igual que lo anteriores son unos dispositivos económicos y de fácil instalación y manejo. El inconveniente de dichos termostatos es que no son programables.



Figura 24. Termostato digital no programable

- Termostatos digitales programables (Crono-termostatos): Durante un largo periodo de tiempo estos termostatos han sido los más utilizados por la sociedad en cuanto a control de la climatización. Se trata de termostatos programables, que, a diferencia de los anteriores, permiten establecer una temperatura concreta para una hora o momento determinado. Se pueden realizar programaciones diarias, semanales o incluso de estaciones. La programación horaria permite a una familia, que no se encuentre en su vivienda habitualmente, encender la calefacción a una hora en concreto, cuando se encuentren en casa. La programación semanal es una característica muy importante sobre todo en segundas viviendas. Permite al usuario programar la calefacción para unos días concretos, aquellos en los que la familia vaya a utilizar la vivienda. Puedes ajustar el encendido o apagado de la calefacción y programar de manera exacta la temperatura. Es por esto que este tipo de termostatos se adoptan a las necesidades y al ritmo de vida de sus usuarios. La principal ventaja de este tipo de termostato es que es programable permitiendo que cada usuario establezca sus propias condiciones de confort. Además, posee una gran precisión y tiene una gran variedad de ajuste de variables. Con el uso adecuado de este dispositivo se pueden obtener un gran ahorro energético respecto a un termostato convencional. Pero los principales inconvenientes a tener en cuenta es que resultan más caros que los termostatos anteriores, el uso del dispositivo tiene una mayor complejidad y en algunos casos es necesario la alimentación eléctrica, aunque en general llevan pilas.

- Termostatos inalámbricos: Normalmente los termostatos que se han comentado anteriormente van conectados eléctricamente a la caldera mediante dos hilos a través de los cuales se envía la señal de encendido/apagado. A diferencia de estos, este tipo de termostatos no necesita de dicho cableado con la caldera, emitiendo la señal a través de una red de radiofrecuencia. Cuando la distancia entre la caldera y el termostato sea elevada los termostatos inalámbricos resultan muy cómodos ya que no es necesario la obra de instalación de cableado.

- Termostato inteligente: Esta palabra viene del término en inglés “smart thermostat” y este tipo de termostato es el último que se ha creado. Es la última innovación que se encuentra en venta. Es un dispositivo que se basa en diferentes algoritmos de confort, eficiencia o temperatura y que puede entender los hábitos del usuario, llevar un control más detallado de la temperatura y favorecer un uso más lógico de la energía. A diferencia de los demás termostatos descritos, con los termostatos inteligentes los usuarios son capaces de programar y ajustar las características térmicas que ellos deseen mediante el uso de una de las tecnologías por excelencia del siglo XXI. Mediante una aplicación móvil que se tendrá que descargar en un Smartphone o Tablet se consigue, en otras cosas, controlar la temperatura de la vivienda, aunque el usuario se encuentre lejos de la misma. Este tipo de termostato necesita estar conectado a la red WiFi de la vivienda donde se encuentre establecido. Al igual que los anteriores las ventajas de este dispositivo es que es programable en función del interés del usuario, posee una precisión muy elevada y tiene una gran variedad en ajustes de variables. Esto quiere decir que se pueden establecer programaciones diarias, semanales, etc. Al igual que los termostatos programables, para una programación diaria permiten al usuario encender o apagar la calefacción a unas horas concretas del día. Es importante para personas que no se encuentren en sus casas todo el día, permitiendo al usuario calentar la vivienda solo cuando sea necesario. La programación semanal es muy práctica en residencias no habituales ya que permiten programar la calefacción para los días en concreto en los que la familia se encuentre usando la vivienda. Pero también resulta útil para la

vivienda habitual, ya que posibilita al usuario a llevar un control térmico de su hogar en función de los días de la semana. Este tipo de termostatos inteligentes añaden otro tipo de programación al dispositivo, que es la programación por zonas. No todas las habitaciones o locales de la vivienda tienen las mismas características térmicas ni los mismos metros cuadrados. Habrá habitáculos que serán más difíciles de calentar que otros, y necesiten más o menos tiempo para alcanzar un confort térmico adecuado. Este tipo de programación permite un control individualizado de cada estancia o zona de la casa. Pero se caracteriza también por ser un dispositivo electrónico vía WiFi que permite el ajuste de cualquier variable de temperatura con conexión a internet, independientemente de la distancia a la que se encuentre tu casa. Tiene aplicaciones muy visuales, sencillas, y eficaces. Tienen la capacidad de indicar exactamente cuánto estás gastando en cada momento, así como de conocer el precio de la energía. Gracias a su conexión con Internet permite visualizar las condiciones meteorológicas en cada instante. Los termostatos inteligentes no solo miden la temperatura del hogar, si no que mide otros muchos parámetros como la humedad, la luminosidad o la proximidad y presencia de las personas, y en base a unos algoritmos regulan la temperatura del local. Con todos estos valores el termostato puede ser capaz de ajustar la calefacción de manera muy precisa, aportando un mayor confort con el menor consumo posible. Con un uso adecuado de las características de este tipo de termostato se puede llegar a conseguir un importante ahorro energético con respecto a los termostatos convencionales. Por tanto, una de las grandes ventajas de este tipo de termostatos es su control a distancia. Permiten ser controlados bien si el usuario se encuentra sentado en el sofá o si se encuentra a kilómetros de distancia de la vivienda. Existen algunos modelos de termostatos inteligentes que a través del teléfono móvil son capaces de conocer la localización geográfica del usuario, y activan la calefacción cuando detectan que el sujeto está próximo a la vivienda. Una de las grandes cuestiones relacionadas con los termostatos inteligentes es la histéresis. La histéresis es la tendencia que posee un material a conservar sus propiedades en ausencia del estímulo que la ha generado. Es decir, en este caso, no todas las calderas de las viviendas, fuentes de generación de calor, son las mismas.

Existen calderas de gas, de madera, de gasoil. Esta diferencia se debe al tipo de combustible que utilizan, que, en función del mismo, tardará más o menos en calentar la casa y el tiempo tampoco será el mismo en dejar de producir calor una vez la caldera se haya parado.

El principal inconveniente de la instalación de este tipo de termostatos es que suponen un importante gasto, es decir, su precio es elevado. Además, está restringido únicamente a personas que puedan disponer y manejar con destreza herramientas móviles y electrónicas. En la Figura 25 se puede apreciar este modelo de termostato, y en la

Figura 26 su aplicación para Smartphone o Tablet donde se puede controlar las condiciones térmicas.



Figura 25. Termostato inteligente



Figura 26. Aplicación para Smartphone o Tablet de un termostato inteligente

- Termostatos modulantes: Este tipo de termostatos son termostatos digitales y pueden ser tanto con cables, como inalámbricos como con conexión WiFi. Adaptan la temperatura de los radiadores. Los termostatos convencionales, como ya se ha explicado, aportan una señal de marcha/paro a la caldera, según se haya alcanzado o no la temperatura de consigna establecida en la estancia donde se encuentra el termostato. Sin embargo, este tipo de termostatos controlan la temperatura ambiente de dicha estancia y en función de la que lean, regulan la potencia de la caldera. Si la temperatura ambiente del local no es muy baja, envían una señal a la caldera dejando a ésta reducir su temperatura de impulsión, y suponiendo un ahorro en el consumo. Este tipo de termostato puede autorizar también a la instalación de una sonda exterior que mida la temperatura del exterior. Con la temperatura ambiente interior y la exterior adapta la temperatura de impulsión de la caldera y las emisiones de los radiadores. Según el Reglamento de las Instalaciones Térmicas en la Edificación (RITE) [20], los termostatos modulantes son de obligada instalación en obras nuevas que dispongan de una caldera de condensación, ya que éstas permiten la modulación. Estos dispositivos pueden suponer un importante ahorro energético, sobretodo más acusado en instalaciones de baja temperatura. El principal inconveniente es que solo pueden ser utilizados en calderas de condensación o modulantes, por lo que están limitados. Además, el precio de los mismos es el más elevado de todos los termostatos descritos.

2.6.3 Funcionamiento

En función del tipo de termostato que se esté utilizando tendrá un funcionamiento u otro. En el caso de los termostatos mecánicos caben destacar los termostatos bimetalicos para la climatización. Consiste en la unión de dos metales. Uno de los extremos del bimetálico se conecta a una fuente de tensión mientras que al otro extremo se le une un contacto eléctrico. Como son dos metales diferentes sus propiedades y coeficientes de expansión térmica también son diferentes. De esta forma, cuando se eleva la temperatura ambiente a la que se encuentra expuesto el dispositivo, uno de

los metales se dilata más que el otro, ocasionando un arqueo en el bimetálico. Esta curva se puede observar en la Figura 27.



Figura 27. Funcionamiento de un termostato bimetálico

Cuando se produce esto los metales dejan de estar en contacto eléctrico, abriendo el circuito que conecta el termostato con la caldera, fuente de calor. Así, el sistema de calefacción se desconecta, la caldera se apaga. Cuando la temperatura desciende de nuevo el elemento bimetálico vuelve a su posición de reposo, deja de estar arqueado. Es entonces cuando vuelven a entrar en contacto eléctrico y se cierra el circuito. La caldera vuelve a encenderse. El elemento bimetálico no se expande y se contrae repentinamente, sino que requiere un tiempo determinado. De este modo la calefacción no está continuamente encendiéndose y apagándose; hecho que provocaría un deterioro y desgaste del sistema.

La temperatura de consigna en este tipo de termostatos se establece mediante un interruptor giratorio. Cuanto más elevada sea la temperatura de consigna más curvado estará el bimetálico en el momento de hacer contacto.

Estos termostatos solo permiten el encendido o apagado de la caldera, On/Off, en función de si el circuito está cerrado o abierto.

En cambio, en los termostatos digitales el funcionamiento es diferente ya que no se basan en principios mecánicos. Este tipo de dispositivos emplean termistores y sensores para determinar la temperatura ambiente y controlar la misma. La temperatura de consigna en este caso se establece mediante pulsadores. El usuario podrá subir o bajar la temperatura de dos pulsadores. En este tipo de termostatos

encender o apagar la caldera es función de relés o contactos libres de potencial, pero además de esto, el usuario también puede realizar controles regulables. Este tipo de control se puede hacer a través de electroválvulas controladas por un servomotor que ajuste la temperatura del agua de calefacción. Pero también se puede llevar a cabo mediante regulación analógica configurada en la programación del microprocesador que posee el termostato. Son dispositivos diferentes que el anteriormente descrito, pero el funcionamiento sigue siendo el mismo. Consiste en abrir o cerrar un circuito eléctrico en función de la temperatura ambiente que mida el termostato. Si la temperatura es elevada el circuito se abrirá, por el contrario, si la temperatura ambiente no es suficiente, el circuito se cerrará. El termostato se encuentra conectado a la caldera bien de forma inalámbrica o bien por dos hilos metálicos. Su función es activar o desactivar la llama que calienta el agua de la caldera, con la que consiguen controlar la calefacción.

Existen unas limitaciones en el funcionamiento de los termostatos [21], con independencia de lo sencillos o sofisticados que éstos sean. Puede suceder que los termostatos ambientes situados en un local determinado desconecten la caldera al alcanzar en dicho lugar la temperatura de consigna establecida, aunque no se haya alcanzado en el resto de locales. Por el contrario, también es posible que suceda al revés. En el local donde se ubica el termostato no se alcanza la temperatura de consigna, sin embargo, en el resto de locales las temperaturas son excesivas. Una solución a estos problemas es la regulación de los detentores de los radiadores, obteniendo un equilibrio hidráulico de la instalación, aunque se sigan produciendo diferencias de temperaturas entre los locales.

2.6.4 Localización

Es necesario que para que un termostato cumpla de manera efectiva con sus funciones, tenga un alto rendimiento y facilite al usuario un ahorro de consumo energético y económico, esté situado en un emplazamiento correcto. De nada sirve cambiar la instalación de calefacción o renovar el antiguo termostato existente en tu

vivienda por los últimos modelos de mercado si la localización del termostato no es la adecuada.

Los sistemas tradicionales de calefacción consisten en la instalación de radiadores o emisores térmicos en la vivienda. El agua caliente procedente del generador de calor (caldera) circula a través de ellos. Ese calor es cedido al exterior, al ambiente, por convección o por radiación. Lo que ocurre es que el aire caliente que sale del radiador es más ligero que el aire ambiente por lo que se eleva hacia arriba a través de las paredes donde se encuentre el radiador. El aire más frío desciende hasta el nivel del radiador, y éste le vuelve a calentar, repitiéndose el ciclo. A este ciclo se le denomina *corriente de convección*, y posibilita el calentamiento del aire de la habitación. Lo que ocurre es que a una determinada altura de la misma el aire estará más caliente que en la parte inferior de la estancia, por lo que el termostato ha de situarse a una altura adecuada, para que no proporcione medidas de temperatura engañosas.

Son por estas razones por las que un termostato no debe situarse en una pared exterior o donde pueda incidir la luz solar directa sobre él a lo largo del día. Debe estar ubicado lejos de ventanas o dispositivos de refrigeración o calefacción ya que proporcionaría una medida de temperatura que no es la correcta, no es la real del habitáculo. Además, deben instalarse a alturas entre 1,5 m-1,8 m del suelo, como ya se explicó anteriormente. Resulta aconsejable disponer los termostatos en la dependencia de mayor carga térmica o la que más horas esté ocupada. Normalmente suele ser la sala de estar o el salón el sitio más adecuado de la vivienda para su instalación. Existe otro lugar de la casa que también resulta beneficioso a la hora de situar el termostato. Si se dispone de un pasillo abierto, se puede considerar que tanto la sala de estar como los dormitorios son una única zona, lo que resulta ventajoso. Si el pasillo puede estar cerrado por puertas desde los espacios regulados es conveniente que durante el funcionamiento o uso de la calefacción las puertas se mantengan abiertas. El termostato no debe colocarse cerca de la fuente controlada, es decir, de la caldera. Esto es debido a que si la distancia no es muy grande el termostato tenderá a acortar el ciclo de funcionamiento, es decir, se producirán mayores arranques y paradas del sistema de calefacción, lo que puede provocar molestias y acortar la vida útil del equipo. A pesar de esto, un sistema de zonas

múltiples puede lograr ahorrar una importante cantidad de energía dejando que las habitaciones que no se utilicen cambien de temperatura apagando o encendiendo la calefacción.

De todas formas, muchos fabricantes de termostatos indican en las hojas de características, así como en el manual de instalación, el lugar adecuado en el que disponer este tipo de aparato. Esto ayuda al usuario a obtener un mejor rendimiento del dispositivo y, como consecuencia, los beneficios o ahorros que indican los fabricantes.

Según la Guía técnica de Instalaciones de calefacción Individual publicada en el Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE) [21], el termostato ambiente se suele colocar en el local con mayor carga térmica, pero en ocasiones esta ubicación crea problemas y, por tanto, habrá que analizar el punto idóneo. Es necesario tener en cuenta o hacer un estudio de la radiación solar. En días despejados con temperaturas bajas es habitual el uso de la calefacción. Los locales situados con orientación sur estarán sometidos a una radiación a través de las ventanas que provocará una elevación de la temperatura. Como consecuencia, el termostato ordenará la parada de la caldera, al margen de lo que ocurra en los habitáculos con orientación norte.

Otro factor a analizar son los locales con gran carga interna (iluminación, personas, equipos, etc.), en los que las temperaturas se pueden elevar debido a las aportaciones interiores, apagando la caldera antes de llegar a la temperatura de consigna en el resto de locales.

2.6.5 TOON

El objeto de estudio de este proyecto, como se comentó anteriormente, se basa en un tipo de termostato inteligente vigente en el mercado actualmente. El dispositivo el cuál se ha analizado se trata del termostato Toon. Una de las compañías energéticas en España, Viesgo, distribuidora de electricidad a través de una infraestructura de 31.150 kilómetros de red y comercializadora de gas y electricidad a más de 730.000

clientes, lanza al mercado este tipo de termostato a partir del tercer trimestre de 2017 [22].

Actualmente, menos del 10 % de los hogares españoles dispone de dispositivos con conexión inteligente. La sociedad se mueve en un periodo de investigación, estudio y desarrollo del fenómeno conocido como “Smart home”, es decir una vivienda inteligente capaz de controlar todas las acciones dentro de la misma, que se gestione por sí sola de manera mucho más eficiente. Los primeros avances fueron los sistemas de seguridad como alarmas y cámaras, y continúa actualmente con la capacidad de autonomía en la calefacción y el consumo.

El Toon fue desarrollado por la compañía holandesa Quby, promotora de soluciones energéticas inteligentes. Viesgo firma un acuerdo con esta compañía para ofrecer a sus clientes este tipo de dispositivo inteligente. El Toon ha sido instalado en más de 350.000 hogares en Bélgica y los Países Bajos, donde ha experimentado un gran éxito. De esta forma Viesgo pretende instalar en España este dispositivo promoviendo la nueva idea de casas inteligentes y guiando al consumidor hacia un uso de la energía sostenible.

La compañía Viesgo pretende con este dispositivo que sus clientes tomen conciencia de la mejor manera de consumir energía, evitando excesos innecesarios, es decir, tener presente un mejor uso de la energía. Permite a los consumidores tener información transparente y a diario de su factura y del control de su consumo.

Por tanto, Toon es una herramienta vigente en el mercado que posee los últimos avances en domótica y la interconexión del mismo con Internet para facilitar la vida de los consumidores. Permite ahorros en la factura de la luz y el gas y es el usuario el que puede controlar íntegramente su consumo energético, aportando una ayuda medioambiental.



Figura 28. Termostato inteligente Toon y su aplicación para móviles [22]

En la Figura 28 se aprecia este dispositivo. Las características que aporta Toon son las comentadas anteriormente al describir los termostatos inteligentes. La adquisición de este tipo de termostato incluye, además del dispositivo, un medidor de consumo que se instala en el cuadro eléctrico. También incorpora una app que permite controlar el consumo de la vivienda desde el móvil sin necesidad de estar en ella.

Una de las ventajas de este termostato que lo diferencia respecto a otros existentes en el mercado es que incluye una instalación realizada por un profesional, permitiendo al usuario estar libre de preocupaciones. El instalador se encargará de dejar en funcionamiento este dispositivo explicando al usuario cómo poder usarlo de la manera más eficaz para sacar el máximo rendimiento. Además, comentará con el usuario el funcionamiento de la app.

Toon permite al usuario tomar el control sobre la calefacción de la vivienda. A través de la aplicación para Smartphone o Tablet se permite cambiar la temperatura o el programa, encenderla o apagarla bien estés en casa o fuera de ella. La aplicación permite visualizar en tu dispositivo móvil el panel del termostato, que es el mismo que aparece en el termostato inteligente. De esta forma, el usuario puede modificar la temperatura del hogar en un instante determinado, cambiar algunos de los cuatro programas que ya vienen predefinidos y configurar la programación semanal. La

aplicación también muestra los consumos eléctricos y el control de enchufes y luces inteligentes.

Si no posees un termostato inteligente, en un día muy frío, no podrás encender la calefacción para que tu casa esté confortable si te encuentras fuera de la vivienda. Sin embargo, este termostato inteligente, permite al usuario encender la calefacción y controlar la temperatura para que cuando llegue al hogar exista un clima de confort.

Otra de las posibilidades que te ofrece Toon es la capacidad de gestionar otros dispositivos inteligentes, aunque no estén incluidos dentro del producto. Viesgo ofrece la posibilidad de añadir enchufes inteligentes o bombillas. Mediante los enchufes el usuario será capaz de conocer la cantidad de energía que utiliza cada electrodoméstico y de esta forma, poder controlarlos. Toon muestra la cantidad de energía utilizada tanto en euros como en kWh y permite conocer qué electrodoméstico gasta más energía para poder así hacer un hogar más eficiente. Las bombillas permiten al usuario cambiar el ambiente de la casa desde cualquier lugar. Encender o apagar las mismas esté o no el usuario en la vivienda. Toon facilita en cualquier momento el gasto real para tomar mejores decisiones al instante. Por tanto, Toon no solo permite controlar la calefacción del hogar, sino también la iluminación y el consumo de los electrodomésticos, pudiendo llegar a ahorrar en la factura del gas y de la luz.

El termostato inteligente Toon ofrece la posibilidad de conseguir un hogar inteligente y sostenible, controlando los precios de gas y luz de forma eficiente. Tiene la capacidad de garantizar la comodidad de los usuarios repercutiendo en la economía de los mismos, así como en el medioambiente. [17]

Las funciones que muestra el termostato inteligente Toon y que el usuario puede modificar según sus prioridades son:

- Ajustar la temperatura: El usuario puede aumentar o reducir la temperatura a la que desea la vivienda. Si la caldera se encuentra encendida aparecerá una llama para indiciar al usuario que se encuentra funcionando. Cuanto mayor sea la llama, mayor será el consumo de la caldera.

- Encender o apagar un programa: Mediante un botón situado en la parte derecha de la pantalla, como se observa en Figura 29, permite encender o apagar un programa semanal configurado por el usuario.
- Guardar las preferencias de temperatura: Toon ofrece cuatro preferencias de temperatura que el usuario puede configurar como las desee (Fuera de casa, En casa, Durmiendo y Confort).



Figura 29. Ajuste de temperatura, posibilidad de programa y preferencias de temperatura [22]

- Configurar el programa semanal: Toon permite realizar un programa semanal. El usuario puede indicar la temperatura a la que desea la vivienda cada hora de la semana. Puede que la configuración de un día no sea la misma que otro día. Por ejemplo, un usuario que durante el fin de semana no suele estar en la vivienda, programará diferentes temperaturas que durante el resto de días de la semana. La forma de configurarlo es sencilla, en la opción de Menú y posteriormente la opción de Programa. Se puede apreciar en la Figura 30.



Figura 30. Configuración de programa semanal [22]

- **Análisis del consumo:** Se puede observar esta pantalla en la Figura 31. Si el usuario desea analizar los consumos en un instante determinado, deberá seleccionar 'Electricidad ahora'. Toon permite observar información clara y actualizada de la energía por hora, día, semana, mes o año, tanto en euros como en kWh. Permite conocer lo que se consume, aunque el usuario crea que está todo apagado y de esta forma reducir el consumo en stand-by. Se pueden observar picos de consumo, informando al usuario sobre qué electrodomésticos consumen mayor energía para que éste racionalice su uso.



Figura 31. Análisis de consumo de energía [22]

- Información meteorológica: Debido a que este dispositivo tiene la posibilidad de conexión con Internet, ofrece información meteorológica de la región que el usuario configure. Una vez el usuario introduzca la ubicación, Toon ofrece información detallada y actualizada sobre las previsiones durante los próximos días.
- Ajuste de vacaciones: Existe un programa del Toon que especifica el periodo vacacional. Es decir, el usuario puede introducir las fechas en las que no se va a encontrar en casa para, de esta forma, evitar gastar innecesariamente.
- Elegir tu propia pantalla de inicio del dispositivo
- Opciones de control: Permite la posibilidad de controlar la temperatura, la iluminación del hogar y el consumo energético. En la Figura 32 se observan estas funcionalidades.

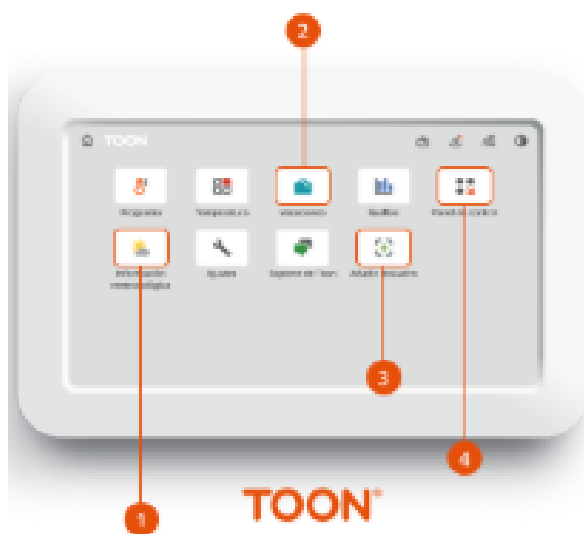


Figura 32. Información meteorológica, periodo vacacional, opciones de control y otras funciones [22]

Es necesario destacar que Toon es compatible con casi cualquier vivienda que cuente con un sistema propio de calefacción de gas conectada a un termostato de pared. Es decir, es necesario que el usuario disponga de una caldera de gas individual, un termostato de pared y conexión a internet WiFi. De momento, Toon no es compatible

con termostatos inalámbricos ni sistemas multizona con más de un termostato en la vivienda.

Es importante conocer que la medición de temperatura del termostato Toon puede ser diferente a la lectura de otro tipo de termostato. Esto es debido principalmente a que utilizan sensores diferentes.

Otro aspecto a tener en cuenta es que el termostato se asegura de que la temperatura deseada se alcance a la hora o al calendario de temperaturas que ha configurado el usuario. Si la temperatura debe alcanzar 20 °C a las 21:00 h, el termostato encenderá la caldera con antelación para asegurar que la temperatura deseada se alcanza a la hora programada.

Según el fabricante de Toon, es importante saber si el termostato se encuentra en el periodo de aprendizaje si se producen sobrecalentamientos en la vivienda. El periodo de aprendizaje comienza una vez se realiza la instalación y dura aproximadamente 10 días. Durante ese periodo el algoritmo de calefacción está calibrando y aprendiendo las características de calefacción de la vivienda. Es por esto por lo que pueden ocasionarse desvíos de temperatura por encima y por debajo de la temperatura de consigna programada. Pero según el fabricante, estas variaciones se estabilizarán una vez pasado el periodo de aprendizaje.

En un estudio llevado a cabo en la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales y de Telecomunicación en la Universidad de Cantabria a través del grupo de investigación involucrado en el proyecto, se analizaron y compararon 4 tipos diferentes de termostatos inteligentes, entre los que se incluye el Toon [23]. Las características de estos termostatos difieren en términos de precio, precisión de las medidas, temperaturas de consigna, algoritmos, etc. Se realizó un modelo dinámico cuyas características se pueden parecer a las de una residencia. De esta forma se consigue testar dichos termostatos en unas condiciones “reales”.

Para ello se empleó una nevera de 70 W con sistema de refrigeración termoeléctrica a través de la cual se consigue reducir la temperatura hasta un valor deseado. Posee también una manta térmica de 15 W que, al contrario que el elemento anterior, consigue elevar la temperatura de la cámara hasta un valor concreto. Con estos dos

elementos se consigue controlar y regular la temperatura. El elemento que se encarga de recoger la información de la cámara y almacenar dicha información es la Raspberry Pi 3 Model B con sus correspondientes dispositivos electrónicos. [23]

En el estudio realizado se obtuvo información de los 4 tipos de termostatos relacionada con el mantenimiento y la anticipación de la temperatura, el punto de referencia. Fue necesario realizar los ensayos repetidas veces con el fin de que los termostatos adquiriesen las características de la vivienda como su inercia térmica o el aislamiento térmico.

El estudio pretende clarificar las capacidades y limitaciones de algunos de los termostatos vigentes en el mercado, cuantificando su precisión, así como la capacidad de aprendizaje de cada uno de ellos.

Además de los diferentes termostatos se dispone de unas sondas Pt100, encargadas de medir la temperatura real de la cámara. Para poder analizar los distintos comportamientos de los dispositivos se realizaron dos tipos de ensayo.

En el primero de ellos se analiza la capacidad de los termostatos de mantener la temperatura de consigna. Las temperaturas de consigna utilizadas son las recomendadas por los fabricantes para cada periodo de día. En este caso, para el termostato Toon, se observó que envía una señal al sistema de calefacción para ser encendido cuando la temperatura baje 1 °C por debajo de la temperatura de consigna y lo apaga cuando la temperatura sube 0,5 °C. De esta forma, el termostato ajusta la variación de temperatura en un grado por encima y un grado y medio por debajo. Este resultado se obtiene con una temperatura de consigna de 19 °C. En el caso de que la temperatura de consigna sea de 17 °C, se observa que el termostato indica el encendido de la calefacción algo antes de llegar a 1 °C por debajo de la temperatura establecida. Cuando la temperatura de consigna es de 16 °C Toon enciende la calefacción cuando la temperatura se encuentra próxima a la de consigna y la apaga cuando observa un aumento de temperatura de menos de medio grado. Los resultados obtenidos en función de las temperaturas de consigna indicadas se recogen en la Tabla 6.

Tabla 6.Registro de resultados para mantener la temperatura de consigna

Termostato	T ^a ensayo (°C)	T ^a termostato (°C)		T ^a Sondas Pt100 (Real) (°C)		ΔT^a (Real Termostato)		ΔT^a (Real Consigna)	
		Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
TOON	19	20,38	17,17	21,92	16,80	1,54	-0,37	2,92	-2,20
	17	18,67	15,86	20,23	15,81	1,56	-0,05	3,23	-1,19
	16	18,45	15,70	19,76	15,58	1,31	-0,12	3,76	-0,42

En dicha tabla se puede apreciar la temperatura máxima y mínima registrada por los termostatos, así como por las sondas Pt100. A continuación, se muestran la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de los termostatos y las sondas, y la diferencia entre las temperaturas máximas y mínimas de las sondas y la temperatura de consigna establecida.

Se aprecia que el termostato Toon se aleja de manera ínfima de las medidas reales de temperatura, siendo más notorio en el caso de temperaturas máximas. El sensor de temperatura del mismo se aproxima a la realidad, es bastante preciso. En cambio, en cuanto a alcanzar la temperatura de consigna se observan más diferencias. En algún caso es capaz de exceder en 3,76 °C la temperatura de consigna establecida.

El segundo ensayo analizaba el comportamiento de los mismos durante un día completo de funcionamiento. La cámara térmica va siguiendo la temperatura de consigna establecida en cada uno de los termostatos, encendiéndose o apagándose a medida que los mismos se lo indiquen. Mediante este ensayo se puede realizar un análisis del confort térmico, en función de las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas. También se evalúa el tiempo de encendido de la calefacción de cada uno de los termostatos, permitiendo valorar el consumo energético que supone cada uno de ellos. Las temperaturas de consigna establecidas durante el ensayo se observan en la Figura 33.

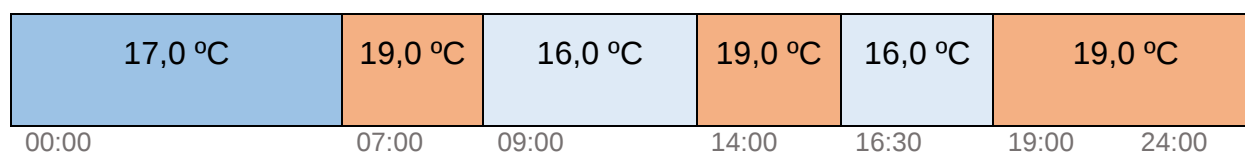


Figura 33. Temperaturas de consigna establecidas según hora del día

Analizando las gráficas donde se observa el comportamiento de este tipo de termostato se llega a la conclusión de que Toon tiene el rango de temperaturas alrededor de la consigna mayor. Además, los picos observados en cuanto a valores de temperatura debidos al modo de anticipación son menores que en otros casos, siendo más evidentes cuando la temperatura de consigna es baja (16 °C, 17 °C). En la Tabla 7 se muestra las temperaturas máximas y mínimas obtenidas durante el ensayo para las temperaturas de consigna establecidas.

Tabla 7. Temperatura máxima y mínima registrada por el termostato para las diferentes temperaturas de consigna

Tª Consigna 16 °C		Tª Consigna 17 °C		Tª Consigna 19 °C	
Máx.	Mín.	Máx.	Mín.	Máx.	Mín.
22,66	15,78	21,39	16,25	22,28	17,41

En cuanto a los tiempos en los que la calefacción se encuentra encendida cabe destacar que de todos los termostatos objetos de estudio, Toon es el que menos tiempo ha mantenido encendido el sistema. Suma un total de 4 horas y 24 minutos lo que supone un 18,35 % del día, permitiendo al usuario reducir el impacto tanto ambiental como en su factura. En la Tabla 8 se pueden observar estos resultados.

Tabla 8. Tiempos de encendido del sistema de calefacción durante los distintos periodos del día

Tiempo de Calefacción en los distintos periodos del día (hh:mm:ss)						Tiempo total de Calefacción (hh:mm:ss)
00:00 – 07:00	07:00- 09:00	09:00- 14:00	14:00- 16:30	16:30- 19:00	19:00- 00:00	
1:15:18	0:26:58	0:44:59	0:32:54	0:23:56	0:59:59	4:24:04

Se observa en este termostato que el periodo de tiempo en el que el sistema de calefacción permanece encendido durante todo un día de funcionamiento para mantener las distintas temperaturas de consigna establecidas en la residencia es relativamente poco. Esto permite al usuario tener en cuenta el consumo de energía que corresponde a ese periodo de funcionamiento y valorar las ventajas o desventajas que éste considere. Además, se puede observar con las explicaciones anteriores el

tipo de sensor del que dispone el dispositivo, tomando en consideración que la mayoría de valores medidos son similares a los reales.

Existen unos campos de estudio futuros en relación con este tipo de termostato. La apuesta futura tiene muy presente valorar y ayudar al medioambiente, tema controvertido en la actualidad. Es una idea cada vez más presente en la sociedad. La idea de las casas inteligentes, “Smart home”, cada vez es más tangible y el primer paso hacia esos ideales es con los denominados termostatos inteligentes. Se están estudiando alternativas que añadir al termostato Toon de forma que no tengan solo control sobre la temperatura o el confort en el hogar, si no que puedan cumplir unas funciones más amplias dentro del mercador residencial. Se buscan ideas y se realizan investigaciones para tener un control absoluto en el hogar, y esta idea se pretende incorporar dentro del termostato Toon [22]. No es posible conocer la fecha exacta de implantación, pero debido a los grandes avances realizados cada vez es más posible y real la puesta en marcha de estos sistemas.

2.7 MARCO NORMATIVO

Desde el año 2007 se generalizó para toda Europa, de manera obligatoria, la certificación energética de los edificios, de forma que pueda proporcionar información sobre la eficiencia energética de la vivienda. Todo ello depende de las características del aislamiento, acristalamientos, sistemas de calefacción, producción de agua caliente sanitaria y aire acondicionado.

En España, desde el año 2007 son aplicables unas ordenes legislativas en cuanto a exigencias energéticas [11]. Estas disposiciones engloban tanto aspectos constructivos del edificio, refiriéndose a una reducción de la demanda energética, así como a las instalaciones consumidoras de energía, responsables de satisfacer las necesidades energéticas de los usuarios de manera eficiente.

- El Código Técnico de la Edificación: Establece unas exigencias mínimas en materia de aislamiento, iluminación, instalaciones de energía solar, térmica y fotovoltaica con el objetivo de reducir el consumo de energía en los edificios y para que parte de dicho consumo proceda de fuentes renovables. Estas exigencias han sido incrementadas en el 2013 mediante la Orden FOM/1635/2013, de 10 de septiembre, por la que se actualiza el Documento Básico DB-HE “*Ahorro de Energía*”, del Código Técnico de la Edificación, aprobado por Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo. [11]
- El Reglamento de Instalaciones Térmicas (RITE) y sus Instrucciones Técnicas Complementarias, que establece las exigencias de eficiencia energética de las instalaciones de calefacción, climatización y producción de agua caliente sanitaria. Es el encargado de proporcionar un bienestar térmico e higiene, de tal forma que la energía tenga un uso eficiente. [11]
- La Certificación de Eficiencia Energética de Edificios. A través de la cual a cada edificio se le asigna una calificación energética en función de la calidad de sus instalaciones de consumo de energía, y de sus características constructivas, que afectan a la demanda de la vivienda. El objetivo de este documento es informar al usuario del comportamiento energético del edificio objeto. Todo este desarrollo normativo se encuadra en el marco de obligaciones que marca la Directiva Europea de Eficiencia Energética en Edificios, la Directiva 2010/31/UE, de 19 de mayo de 2010. [11]

El Reglamento de Instalaciones térmicas en los Edificios (RITE) [20], regula las condiciones que deben cumplir las instalaciones destinadas a ocuparse de la demanda del bienestar térmico e higiene a través de las instalaciones de calefacción, climatización y agua caliente sanitaria para conseguir un uso racional de la energía. El nuevo reglamento recoge una versión actualizada de Real Decreto 1027/2007, de 20 de julio, por el que se aprueba el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios, teniendo en cuenta las correcciones de errores y modificaciones realizadas

desde su publicación en el B.O.E. del 29 de agosto de 2007. La última modificación se publicó el 5 de septiembre de 2013.

El nuevo código se aplicará a instalaciones térmicas en los edificios de nueva construcción y a las instalaciones térmicas que se reformen en los edificios ya existentes, exclusivamente en lo que a la parte reformada se refiere, así como en lo relativo al mantenimiento, uso e inspección de todas las instalaciones térmicas. Este reglamento establece los valores límite de las temperaturas del aire para recintos acondicionados:

- a) La temperatura del aire en los recintos calefactables no será superior a 21 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de calor por parte del sistema de calefacción (invierno).
- b) La temperatura del aire en los recintos refrigerados no será inferior a 26 °C, cuando para ello se requiera consumo de energía convencional para la generación de frío por parte del sistema de refrigeración (verano).
- c) Las condiciones de temperatura anteriores estarán referidas al mantenimiento de una humedad relativa comprendida entre el 30% y el 70%.

Dichas limitaciones se aplicarán exclusivamente durante el uso, explotación y mantenimiento de la instalación térmica, por razones de ahorro de energía, con independencia de las condiciones interiores de diseño establecidas.

Esta normativa sirve de orientación, y dependiendo de la conciencia ambiental de cada usuario, del bienestar o el confort se podrá escoger una temperatura u otra. La condición necesaria es que no se sobrepasen dichos límites descritos.

Además, este reglamento contiene un artículo que trata sobre la caracterización y cuantificación de la exigencia de bienestar e higiene. Dentro del mismo aborda la exigencia de calidad térmica del ambiente. Ésta se considera satisfecha en el diseño y dimensionamiento de la instalación térmica, si los parámetros que definen el bienestar térmico, como la temperatura seca del aire y operativa, humedad relativa,

temperatura radiante media del recinto, velocidad media del aire se encuentran dentro de unos valores establecidos.

Las condiciones interiores de diseño de la temperatura operativa y la humedad relativa se fijarán en base a la actividad metabólica de las personas, a su grado de vestimenta y el porcentaje estimado de insatisfechos.

Tabla 9. Condiciones interiores de diseño

Condiciones interiores de diseño		
Factores	Verano	Invierno
Temperatura operativa °C	23...25	21...23
Humedad relativa %	45...60	40...50

Los valores de la Tabla 9 corresponden son para personas con una actividad metabólica sedentaria de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno y un PPD entre 10 y 15%. Para valores diferentes de actividad metabólica, grado de vestimenta y PPD será necesario considerar la norma UNE-EN-ISO 7730 [1].

Las normas propias de la edificación se recogen el Código Técnico de Edificación (CTE). Se establece en el Real Decreto 314/2006, de 17 de marzo, que posteriormente ha sido actualizado hasta la última modificación. Dentro del mismo, los documentos con influencia directa en instalaciones térmicas de edificios son los de Ahorro de Energía (HE) y los de salubridad (HS).

Para realizar el estudio térmico de una vivienda es necesario conocer el emplazamiento de la misma. El Código Técnico de la Edificación, en su documento sobre Ahorro de la Energía, establece la zona climática a la que pertenece una localidad [24]. Esto permite conocer las condiciones exteriores de cálculo, y tomar

valores regulados de características como transmitancias térmicas, factores solares, etc. La zona climática queda caracterizada por los apartados HE-1 (Limitación de la demanda energética) y HE-4 (Contribución solar mínima de agua caliente sanitaria).

En el Real Decreto 1826/2009 publicado el 11 de diciembre de 2009 en el Boletín Oficial del Estado se establecen los requisitos mínimos para la instalación de calderas. Las calderas atmosféricas de gas de cámara abierta (B) hasta 70 kW quedan prohibidas a partir de 2010. Si el combustible es gaseoso, la caldera tiene que ser de cámara cerrada (C). Además, queda fijado los rendimientos mínimos requeridos para calderas estándar en función de la potencia nominal de las mismas en 2010. En 2012 se realizó una modificación, aumentando dichos rendimientos. La Tabla 10 recoge los rendimientos de las calderas estándar en función de la potencia nominal.

Tabla 10. Rendimientos mínimos de calderas estándar a partir del año 2012, para diferentes potencias nominales (FUENTE: Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual, IDAE)

Potencia	24 kW		28 kW		35 kW		70 kW	
%carga	100 %	30 %	100 %	30 %	100 %	30 %	100 %	30 %
01/01/2012	92,76	90,14	92,89	90,34	93,09	90,63	93,69	91,54

En cuanto a la certificación energética de los edificios, en el Real Decreto 235/2013, de 5 de abril, publicado en el Boletín Oficial de Estado se aprueba el *Procedimiento básico para la certificación de eficiencia energética de edificios*, tanto de nueva construcción como a edificios ya existentes. La presentación o puesta a disposición de los compradores o arrendatarios del certificado de eficiencia energética será exigible para los contratos de compra-venta o arrendamiento a partir del 1 de junio de 2013. De esta forma, a partir de dicha fecha, los futuros propietarios o inquilinos son conscientes de las condiciones energéticas de la vivienda en cuestión. [25]

En el artículo 3 de dicho decreto mencionado, se crea un Registro general de documentos reconocidos para la certificación de la eficiencia energética con el fin de facilitar el cumplimiento básico.

Con este certificado y mediante una etiqueta de eficiencia energética el edificio queda calificado. Es decir, se asigna a cada edificio una Clase Energética de eficiencia, que se describe mediante una letra. Estas letras van desde la A hasta la G siendo la primera para los energéticamente más eficientes y la última para los menos eficientes. Esta calificación es función del consumo de energía en términos de potencia por metro cuadrado, así como de las emisiones en kg de CO₂ por metro cuadrado que tiene el edificio. En la etiqueta de eficiencia energética será necesario indicar características del edificio objeto como su localización, el tipo de edificio y la fecha en la que se realiza el registro, como se observa en la Figura 34 .

CALIFICACIÓN ENERGÉTICA DEL EDIFICIO TERMINADO ETIQUETA

DATOS DEL EDIFICIO

Normativa vigente construcción / rehabilitación	Tipo de edificio
	Dirección
	Municipio
Referencia/s catastral/es	C.P.
	C. Autónoma

ESCALA DE LA CALIFICACIÓN ENERGÉTICA

	Consumo de energía kW h / m ² año	Emisiones kg CO ₂ / m ² año
A más eficiente		
B		
C		
D		
E		
F		
G menos eficiente		

REGISTRO

Válido hasta dd/mm/aaaa

ESPAÑA
Directiva 2010 / 31 / UE

Figura 34. Etiqueta de eficiencia energética en edificio. Fuente: Ministerio de Industria Comercio y Turismo

En cuanto a cuestiones de ahorro y eficiencia energética en la legislación española hay una serie de Leyes, Directivas, reglamentos, estrategias y planes que pretenden regular dichos aspectos. Tienen como propósito aportar nuevos caminos para mejorar a la sociedad y orientar a la misma hacia un desarrollo sostenible y competente frente al resto de países. Pretenden transmitir información y conocimiento a los usuarios. Se pueden destacar como referencia algunos planes mencionados con anterioridad:

- Plan Nacional de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética 2017-2020 [9]
- Plan de Acción Nacional de Energías Renovables 2011-2020 [10]

Según el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020, remitido a Bruselas en el mes de abril, responde a la exigencia del artículo 24.2 de la Directiva 2012/27/UE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 25 de octubre de 2012, relativa a la eficiencia energética. Este Plan ofrece una continuidad al Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2014-2020, cuyo objetivo se centra en la política energética, de tal forma que permita alcanzar los objetivos de eficiencia energética y de ahorro derivados de la Directiva anteriormente mencionada.

Esta versión es publicada en el mes de abril de 2017 y se encuentra disponible en la página de la Comisión Europea. En este documento se han integrado tanto el Plan Nacional de Acción de Eficiencia Energética 2017-2020 como el informe anual correspondiente al año 2017. Además de esto, y de acuerdo con el artículo 4 de la Directiva 2012/27/UE, España debe actualizar y remitir la estrategia a largo plazo para promover inversiones en la renovación del parque nacional de edificios residenciales y comerciales. La actualización de la estrategia que fue remitida por España en junio de 2014 se enviará a la Comisión Europea como documento separado desde el Ministerio de Fomento. El documento se divide en cuatro capítulos.

- Capítulo 1: Se basa en una introducción, la metodología empleada y el contenido del documento.
- Capítulo 2: Consiste en un resumen del consumo e intensidad energética en España en el año 2015.

- Capítulo 3: Se incluye en este capítulo el panorama de los objetivos planteados y los ahorros nacionales en eficiencia energética expuestos. Hace un balance y una comparativa con los marcados por la Unión Europea.
- Capítulo 4: Establece las medidas de ejecución de la directiva de eficiencia energética. Se llevan a cabo a través del Real Decreto Ley 8/2014, de 4 de julio, de aprobación de medidas urgentes para el crecimiento, la competitividad y la eficiencia, convalidado mediante la Ley 18/2014, de 15 de octubre que ha traspuesto a la Directiva 2012/27/UE. Aborda las medidas a llevar a cabo en los sectores consumidores de energía final en general, particularizando para edificaciones, organismos públicos, industria, transporte, etc.

El Plan de Energías Renovables (PER) 2011-2020, fue aprobado en noviembre de 2011 y establece unos objetivos ajustados con la Directiva 2009/28/CE del Parlamento Europeo y del Consejo, de 23 de abril de 2009. En esta se fomenta el uso de la energía procedente de fuentes renovables de acuerdo con los mandatos del Real Decreto 661/2007 que regulan la actividad de producción eléctrica y con la Ley 2/2011, de Economía Sostenible.

3 METODOLOGIA

Se puede observar de forma gráfica el proceso que se ha llevado a cabo a la hora de la realizar este proyecto en la Figura 35. Este procedimiento engloba diversos factores que pueden parecer distintos, pero que llevan todos ellos a un objetivo, la viabilidad en la instalación de un termostato inteligente en el hogar. Algunos recursos que aparecen en el esquema se explican en apartados posteriores con más profundidad.

En un primer momento este proyecto requirió obtener y analizar información sobre el dispositivo objeto de estudio, es decir, el termostato inteligente Toon. Cómo funciona el objeto, qué datos es capaz de almacenar, qué datos es capaz de facilitar al usuario, así como sus capacidades e instalación fueron los factores a tener en cuenta.

Una vez conocido el producto se realizó una investigación sobre el tipo de sector o cliente que pudiese recurrir al mismo para facilitar aspectos de la vida cotidiana. Se investigó sobre eficiencia energética y sobre el sector residencial. Uno de los temas más importantes es el consumo o demanda energética que se muestra en el apartado 2.2. Hay que tener presente también las normativas vigentes dentro de dicho bloque (energético, residencial, etc.)

Otro de los aspectos a tener en cuenta es el análisis térmico. Conocer y analizar la transmisión térmica en los edificios, la previsión de cargas térmicas en el interior de la vivienda, adquirir el confort higo-térmico e investigar sobre posibles instalaciones climáticas fue el trabajo que se llevó a cabo.

Y otra de las bases antes de poder concebir el modelo térmico fue la experimentación. Se realizaron diferentes ensayos experimentales para poder analizar diversas características y ser capaces de obtener unas conclusiones. Se explican con detalle en el apartado 5. Alguno de los datos obtenidos son los tiempos que se mantiene la calefacción encendida, la inercia térmica de la vivienda, qué tan preciso resulta el dispositivo, etc.



Figura 35. Representación esquemática de la metodología empleada en este proyecto

Una vez que se dispone de toda la información, se procede a resolver el modelo matemáticamente. Para poder realizar una previsión de cargas lo más detallada posible es necesario conocer un gran número de parámetros, que en este proyecto resultaron imposibles. La instalación de este tipo de termostatos puede darse en diferentes localidades y situaciones de la geografía de España, por lo que sacar unas conclusiones generales resulta complicado. Es necesario que se tenga presente que, al no disponer de parámetros concretos de las posibles viviendas, el modelo en cuestión es sencillo.

Una vez obtenidas las posibles características de la vivienda y los consumos se llevan a un software de simulación, en este caso el empleado es Simulink. Con este lenguaje se construye el modelo y se ejecuta en varias ocasiones con el objetivo de tener suficiente información como para obtener ciertas conclusiones. Se analizan aspectos técnicos y teóricos, así como económicos que permitan conocer si la instalación de un termostato inteligente en la vivienda española es viable o no.

En apartados posteriores se pretende tratar con cierta profundidad alguno de los aspectos teóricos del proceso llevado a cabo en este proyecto, así como información sobre la herramienta de simulación empleada.

3.1 MARCO TEÓRICO

En este apartado se van a recoger distintos conceptos relacionados con el balance energético de los edificios. Es decir, se va a dar información sobre aspectos relacionados con la ingeniería térmica en relación con la edificación o la vivienda. Conceptos clave sobre transferencia de calor.

Es necesario destacar al comienzo de este apartado el concepto de transmitancia térmica. Es uno de los parámetros más importantes en el tema de la edificación. La demanda de calefacción de los edificios, en este caso de una vivienda, depende directamente de la transmitancia térmica. Cuanto mayor es la transmitancia térmica de los cerramientos, mayor es la demanda de calefacción. Se puede definir este

término como la cantidad de calor que atraviesa por unidad de tiempo y superficie un cerramiento cuando existe una diferencia de temperatura entre los dos ambientes igual a la unidad. Su unidad es el $[W/(m^2 \cdot K)]$.

Es por ello que la eficiencia o el estudio energético de un edificio dependen fuertemente de este parámetro. Para poder calcularla existen diferentes modos. Uno de ellos es el cálculo a partir de que fuentes oficiales proporcionen el valor sobre materiales o configuración constructiva de los cerramientos. Pero en muchas ocasiones no se dispone de estos datos, como ocurre con este proyecto. Algunos autores deducen el valor con una simple inspección, pero estudios revelan que con este método pueden producirse errores de elevada importancia. Es decir, que se producen errores con respecto a valores obtenidos experimentalmente [26].

Como la transmitancia térmica está estrechamente relacionada con la eficiencia energética de los edificios un cálculo erróneo de dicho parámetro puede ocasionar importantes fluctuaciones en el consumo de energía. Esto a su vez provoca que, en cuanto a la calificación energética explicada en apartados anteriores, el edificio podría cambiar su letra. Con todo lo explicado se quiere reflejar la importancia de seguir investigando en cuanto a métodos de cálculo de transmitancia térmica con el objetivo de contribuir a la sostenibilidad y a la calidad energética en el sector de la edificación [26].

El intercambio de energía térmica de los edificios con el exterior es un hecho y de ahí viene el concepto de balance térmico. El balance térmico es la diferencia existente entre el calor que el edificio o la vivienda cede al exterior y el calor que la vivienda gana en un determinado tiempo. La unidad de medida es el vatio $[W]$. En cuanto a su valor, éste queda determinado por las características de climatización o por las condiciones de confort descritas en el Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios [20] y parámetros constructivos de la edificación en el Código Técnico de Edificación [24]. En la Figura 36 se puede observar una representación de este balance energético correspondiente a una vivienda.

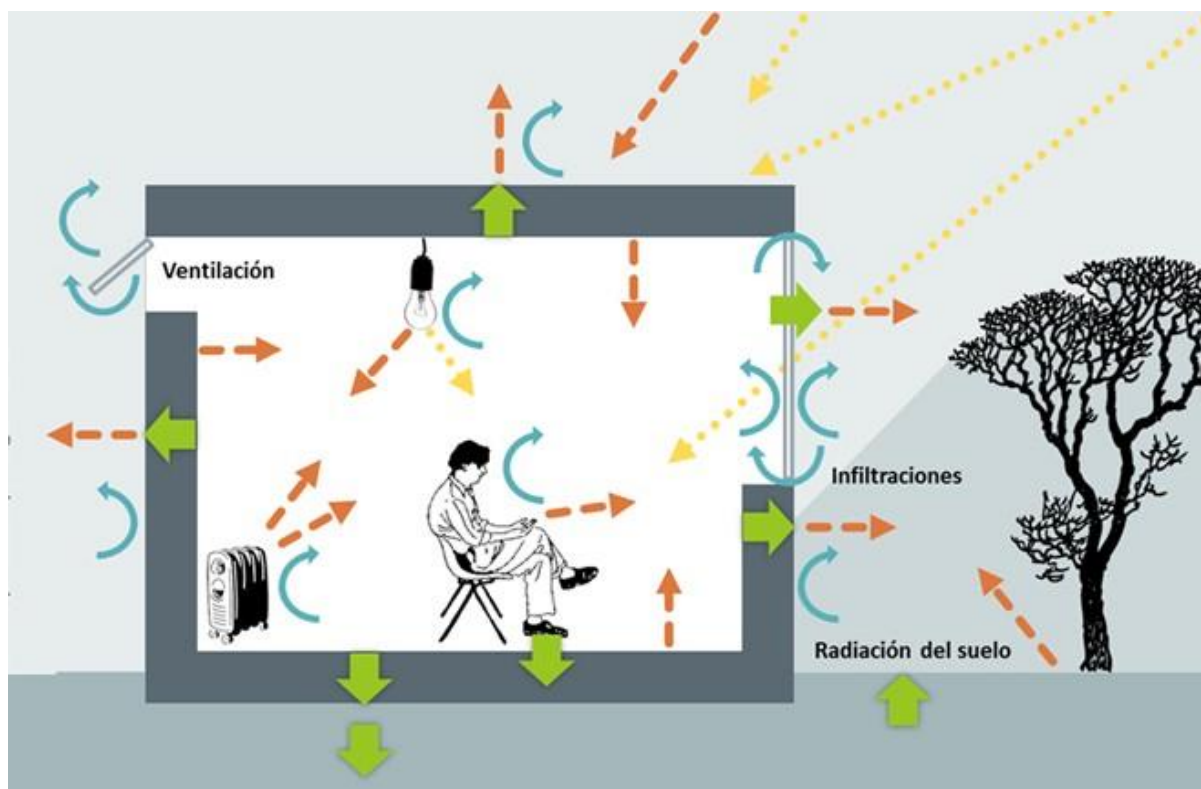


Figura 36. Representación del balance térmico en una vivienda. Fuente: Arquitectura y Energía

Como se muestra, el balance térmico depende de muchos factores entre los que se incluyen tanto interiores como exteriores. Los aportes de calor a la vivienda pueden darse a través de la iluminación, de equipos instalados en el lugar o incluso por la presencia de ocupantes en el interior. Pero también tiene gran influencia la radiación solar. Por el contrario, la vivienda puede perder calor a través de mecanismos de transferencia de calor como la conducción y la convección. Son importantes también en este balance las infiltraciones y la ventilación. Posteriormente se irá explicando algunos de estos procesos, para poder entender mejor el concepto de balance energético o térmico. Dicho balance tiene una influencia en el comportamiento de la vivienda, así como en el consumo energético, hechos que afectan a este proyecto.

3.1.1 Transmisión de calor

La transmisión de calor o transferencia de calor es la ciencia que pretende determinar el intercambio de energía que se produce entre dos cuerpos materiales cuando éstos se encuentran a diferentes temperaturas. Este intercambio de energía se denomina calor. Pero la transferencia de calor va más allá de predecir esa energía y estudia la rapidez a la que se produce el proceso. Es decir, la transmisión de calor complementa el primer y segundo principio de la termodinámica al proporcionar leyes que explican la rapidez en la transferencia de energía de un cuerpo a otro [27].

El calor es transmitido del cuerpo con mayor temperatura hacia el cuerpo con menor temperatura hasta que finalmente ambos cuerpos queden a la misma temperatura. Este proceso se denomina equilibrio térmico. Como se comentó en el párrafo anterior, con la transferencia de calor se mide la rapidez, por tanto, un término importante es el tiempo. El calor que se transmite se denomina flujo de calor y varía con el tiempo según las temperaturas que ambos cuerpos intercambian. En la Ecuación (5) se define el flujo de calor cuyas unidades son [J/s] o [W].

$$\Phi = \frac{dQ}{dt} \quad (5)$$

En el caso de una vivienda, la transmisión de calor se produce entre el interior de la misma y el exterior cuando las temperaturas son diferentes. Generalmente para expresar el intercambio de calor producido entre el edificio y el exterior se divide por unidad de área o de volumen. A este flujo de calor dividido por el área se le conoce como densidad de flujo y queda mostrado en la Ecuación (6) . La unidad de medida es [J/s·m²] o [W/m²].

$$q = \frac{\Phi}{A} \quad (6)$$

Para poder evaluar la transmisión de calor, es decir, el flujo de calor entre dos cuerpos es necesario determinar si el proceso varía en el tiempo o no. De esta forma se establecen dos tipos de transmisión: régimen transitorio y régimen estacionario. En el apartado sobre el modelo térmico, en la obtención de los parámetros característicos

4.2, se tuvo en cuenta lo que se está comentando aquí. Establecer para diferentes situaciones un tipo de régimen apropiado.

Régimen estacionario y régimen transitorio

Como se ha explicado con anterioridad, la transmisión de energía calorífica de un cuerpo a otro depende de la diferencia de temperatura entre los dos. Según se calienta el cuerpo frío, varía su temperatura, y como consecuencia la velocidad de intercambio de calor se modifica, siendo esta más pequeña. Esto provoca cierta dificultad en el cálculo del proceso de transferencia de calor.

Al someter a un cuerpo a un cambio brusco de temperatura, éste necesita un tiempo para recuperar la condición de equilibrio. Es decir, las temperaturas subirán progresivamente hasta adoptar un perfil lineal con una transferencia constante, condición que hace referencia al régimen estacionario [28]. El proceso transitorio de calentamiento o enfriamiento de un cuerpo debe analizarse de distinta forma que el régimen estacionario. Se debe tener en cuenta la variación con el tiempo de la energía interna del cuerpo, así como el ajuste de las condiciones de contorno [27]. El régimen transitorio es el de mayor interés práctico debido al gran número de aplicaciones reales que posee. En la Figura 37 se puede observar la distribución de flujos de calor entre el cuerpo frío y el cuerpo caliente, suponiendo que el régimen estacionario se adquiere instantáneamente.

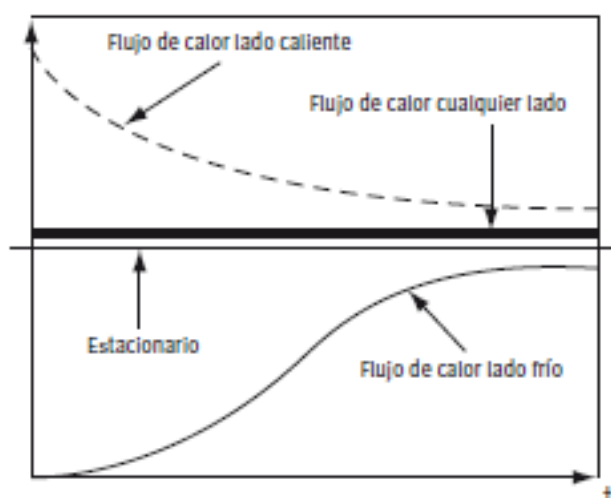


Figura 37. Distribución de flujos de calor entre un cuerpo caliente y uno frío [28]

En ocasiones para poder simplificar el proceso, se lleva todo a una situación de cálculo más sencilla, conocido como régimen permanente o estacionario. Esto no es más que considerar que no existe variación de temperaturas con respecto al tiempo. Se evalúan los procesos suponiendo una estabilidad en las condiciones de trabajo durante un tiempo indefinido. Según esta definición, si dos sistemas van a intercambiar energía a través de un tercero, lo que ocurre con el análisis y el modelo térmico de la vivienda de este proyecto, los dos mantienen sus temperaturas constantes siempre y cuando la temperatura de los puntos del cuerpo intermedio sea estable [29].

Un ejemplo para entender el proceso estacionario es suponer una barra aislada conectada en los extremos con dos cuerpos con temperaturas constantes. En el instante inicial la temperatura de los dos cuerpos es la misma, por lo que la barra tendrá dicha temperatura en todos los puntos de la misma. Si se calienta uno de los cuerpos, el extremo en contacto con el mismo se calentará hasta alcanzar la misma temperatura que el cuerpo. El resto de puntos de la barra aumentarán su temperatura con el paso del tiempo hasta alcanzar ciertas temperaturas de transición entre la temperatura del cuerpo caliente y la temperatura del cuerpo frío. Este proceso se puede ver en la Figura 38 .

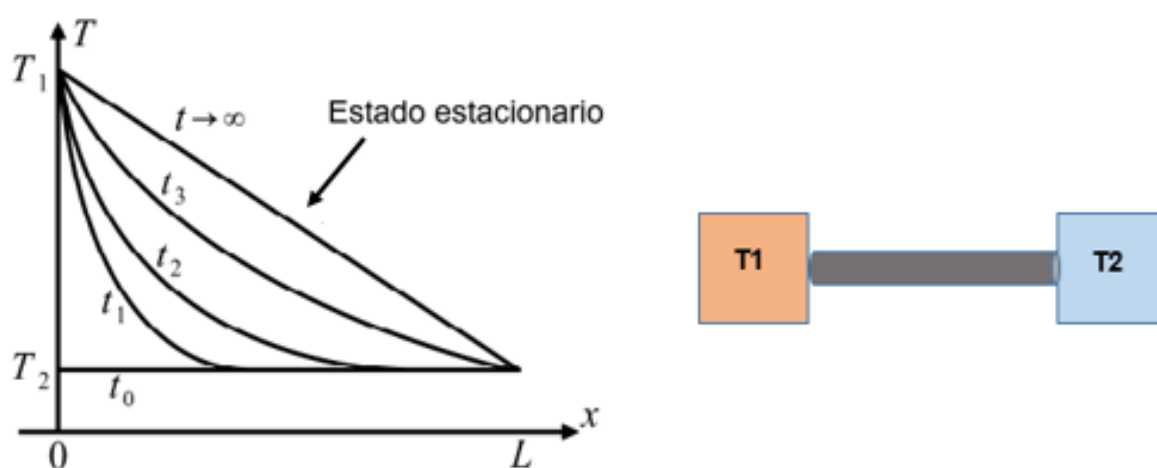


Figura 38. Distribución de temperaturas a lo largo de una barra como ejemplo del concepto de régimen estacionario.

Como se comentó anteriormente, el régimen transitorio depende tanto de la temperatura de los sistemas, cuerpos o ambientes que intercambian energía, como del tiempo que se emplea en dicho proceso [29].

En el caso de este proyecto, al estudiar la transferencia de calor entre los diferentes ambientes involucrados en la vivienda, el papel que desempeña el régimen variable es fundamental. La temperatura a lo largo de un día completo experimenta variaciones considerables, tanto la temperatura en el interior de la vivienda como en el exterior. Si se desea obtener resultados muy próximos a la realidad, habrá que realizar los cálculos teniendo en cuenta este régimen transitorio.

A continuación, se van a exponer los tres mecanismos fundamentales de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. En la Figura 39 se representan de manera muy sencilla estos procesos.

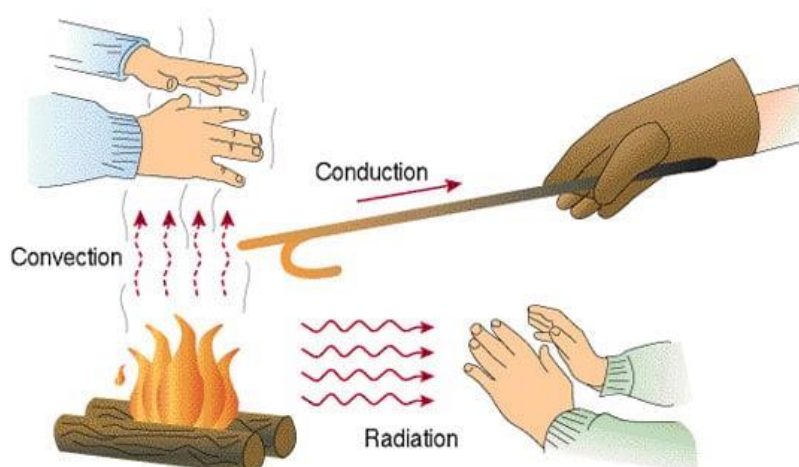


Figura 39. Mecanismos de transferencia de calor: conducción, convección y radiación. Fuente: Arquitectura y energía

Conducción

Es el mecanismo de transferencia de calor que se da entre sólidos. Es necesario que exista contacto directo entre un cuerpo y otro. La conducción transmite energía cinética de átomos o moléculas en contacto y no implica transporte de material. La transferencia de calor lleva una dirección y va desde la región de alta temperatura a

la región de baja temperatura. Este fenómeno ocurre cuando en cuerpo existe un gradiente de temperatura [27].

Si se considera que la transmisión de calor se produce en régimen estacionario se cumple la ley de Fourier que dice que el flujo de calor por unidad de área es proporcional al gradiente normal de temperatura. En la Ecuación (7) se expresa esta proporción.

$$\frac{\Phi}{A} \sim \frac{\partial T}{\partial x} \quad (7)$$

Teniendo en cuenta la constante de proporcionalidad la ley que rige el fenómeno de la conducción viene dado por la Ecuación (8) . Es necesario destacar que el signo menos se pone para satisfacer el segundo principio de la termodinámica, es decir, el calor debe fluir hacia temperaturas decrecientes [27].

$$\frac{\Phi}{A} = -K \cdot \frac{\partial T}{\partial x} \quad (8)$$

Siendo:

- $\Phi \equiv$ Flujo de calor [W]
- $K \equiv$ Conductividad térmica del medio [W/(m·K)]
- $\frac{\partial T}{\partial x} \equiv$ Gradiente de temperatura en la dirección del flujo de calor

La conductividad térmica del medio es distinta para cada material y puede tener un rango de valores muy dispar. Este parámetro depende fuertemente de la temperatura. Puede definirse la conductividad térmica de un material entre dos superficies infinitas separadas igual a la unidad (espesor, e) como la cantidad de calor que pasa en la unidad de tiempo (flujo de calor, Φ) a través de la unidad de superficie (A), al establecerse una diferencia de temperaturas entre sus caras de la unidad. En la Ecuación (9) puede mostrarse el cálculo de este parámetro.

$$K = \frac{\Phi \cdot e}{A \cdot \Delta T} \quad (9)$$

Se define la resistencia térmica en la Ecuación (10).

$$Rt = \frac{e}{K \cdot A} \quad (10)$$

Este es un parámetro que se tendrá en cuenta en análisis posteriores sobre el modelo térmico de la vivienda. Es un parámetro de gran importancia que nos indica la capacidad de un material para dejar pasar el calor. Cuanto mayor es la resistencia térmica mayor dificultad presenta para el paso de calor. Como se puede ver en la expresión el valor de resistencia térmica será mayor cuanto: mayor sea el espesor del material, menor sea la conductividad térmica y menor sea el área que atraviesa el flujo.

En la Tabla 11 se presentan algunos valores de conductividad térmica característicos en cuanto al tema de edificación.

Tabla 11. Conductividad térmica de algunos materiales de construcción. Fuente: Adaptado de [27]

Material	K [W/(m·K)]	Material	K [W/(m·K)]
Acero (0,5%C)	55	Madera	0,166
Vidrio	0,78	Hormigón	1,37
Aire	0,024	Ladrillo	0,69

Convección

Es el mecanismo de transferencia de calor que se da entre fluidos (líquidos o gases) al mezclarse partes a diferentes temperaturas. Es también posible el intercambio de calor entre una superficie lisa y un fluido, caso de este proyecto. Es la transmisión de calor por medio del movimiento de un fluido cuando existe una diferencia de temperaturas. Existe también un gradiente de densidad. En este proceso entran en juego parámetros como la velocidad del fluido, la viscosidad dinámica, la densidad, el calor específico, la geometría, la conductividad térmica, etc. [27]. La viscosidad influye

directamente en el proceso de la convección ya que modifica el perfil de velocidades y, por tanto, el flujo de energía en la región próxima a la pared.

A diferencia del concepto de conducción, en este proceso el gradiente de temperaturas depende de la rapidez a la cual el fluido se lleva el calor [27]. Cuanto mayor sea la velocidad, mayor será el gradiente de temperaturas. La ley que rige el comportamiento general de la convección es la ley de enfriamiento de Newton expuesta en la Ecuación (11).

$$\Phi = h \cdot A \cdot (T_p - T_{\infty}) \quad (11)$$

Siendo:

- $\Phi \equiv$ Flujo de calor transferido
- $T_p \equiv$ Temperatura de la pared
- $T_{\infty} \equiv$ Temperatura del fluido
- $h \equiv$ Coeficiente de transferencia de calor por convección o conductancia de película. $[W/(m^2 \cdot K)]$

Existen dos tipos de convección: natural y forzada. En la convección natural se produce el calentamiento o enfriamiento de sólidos al ponerse en contacto con un fluido, cuando éste no se está moviendo en un principio. El fluido experimentará un cambio de densidad y es entonces cuando se desplazará hacia otra zona. Por el contrario, en la convección forzada el fluido está inicialmente en movimiento, existiendo fuerzas externas al sistema.

El fenómeno de la convección es complicado ya que influyen sobre él diversos factores. Los cálculos del coeficiente de película son complicados y no se utiliza una ecuación sencilla para todos los casos. En muchos estudios basados en la convección se obtiene dicho parámetro a través de la experimentación [27].

Radiación

Es el mecanismo de transferencia de calor que puede darse en todos los medios, es decir, en sólidos, líquidos y gases. Este fenómeno tiene lugar simplemente por el hecho de que los cuerpos tienen una temperatura superior al cero absoluto y, por lo

tanto, emiten energía electromagnética. La emisión de energía tiene lugar en la superficie de un cuerpo. La radiación ocurre entre superficies de cuerpos a diferentes temperaturas. El cuerpo con más temperatura desprenderá mayor energía. Dicha energía es captada por el segundo cuerpo. Los dos cuerpos radian energía electromagnética.

Para que se produzca este proceso no es necesario que exista contacto material entre los cuerpos, es decir, puede propagarse a través del vacío perfecto [27]. Una de las características que distingue este mecanismo de transferencia de los anteriormente descritos es la posibilidad de ausencia de dicho contacto.

En relación con este proceso y en función de la radiación térmica se pueden distinguir entre cuerpos negros y cuerpos grises.

- Un cuerpo negro es un cuerpo que radia energía según la ley T^4 . Son cuerpos que radian la mayor energía posible. Se les denomina también *radiador térmico ideal*. También actúan como receptores perfectos. Es necesario destacar que su radiación es difusa. Esto quiere decir que cualquier punto de su superficie radia en cualquier dirección. La energía emitida por estos cuerpos viene dada por la Ecuación (12) denominada ecuación de Stefan-Boltzman.

$$q_{emitido} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (12)$$

Siendo:

- $\sigma \equiv$ Constante de Stefan-Boltzman = $5,669 \cdot 10^{-8} \text{ [W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)]$

El intercambio de radiación entre dos superficies es proporcional a la diferencia de temperaturas absolutas elevada a la cuarta potencia [27].

- Un cuerpo gris emite radiación difusa, al igual que en el caso anterior, es decir en cualquier dirección. Sin embargo, la intensidad de emisión es menor que en el caso de un cuerpo negro. Surge en este caso el concepto de emisividad ϵ , que es la proporción entre la radiación de un cuerpo a una determinada temperatura con la radiación del cuerpo negro.

- Cuerpo negro: $\varepsilon = 1$
- Cuerpo gris: $1 > \varepsilon > 0$

Otro dato a tener en cuenta es que no toda la radiación emitida por la superficie de un cuerpo alcanzará la otra superficie. Por tanto a la Ecuación (12) hay que introducir dos factores para tener en cuenta las dos situaciones comentadas [27]. La función de transferencia de energía por radiación queda expresada en la Ecuación (13).

$$q_{emitido} = F_G \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot A \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (13)$$

Siendo:

- $\varepsilon \equiv$ emisividad
- $F_G \equiv$ Factor de vista

Por último, en cuanto a este concepto, es necesario destacar que la radiación incidente en un objeto puede ser reflejada, absorbida y/o transmitida. Esto puede ocurrir cuando la energía solar incide sobre las ventanas de la vivienda objeto de estudio. Estas tres interacciones entre la radiación y los cuerpos dan lugar a tres coeficientes, todos ellos menores que la unidad. La suma de los tres deberá ser igual a la unidad (conservación de la radiación).

3.1.2 Almacenamiento de calor

Otro punto que se ha tenido en cuenta a lo largo de este proyecto es la característica de almacenamiento o acumulación de calor. En una vivienda de tipo general o en un edificio, la existencia de esta propiedad es evidente. En invierno, pese a las condiciones exteriores, la estancia en la que se vive nunca alcanza valores extremos de temperatura. A través de factores externos o la propia inercia de la vivienda, se consigue que en el interior existan unas condiciones térmicas de confort, se consigue almacenar calor.

La acumulación de calor depende de la densidad de los materiales, así como del calor específico. Es por ello que todos los materiales tienen la capacidad de almacenar calor [30].

Se define el calor específico, c_e , como la cantidad de calor necesaria para que una sustancia aumente su temperatura en una unidad. Es una variable que depende de la temperatura del material, así como el tipo de material que es. Cuando se utiliza en materia de construcción se tiene presente el calor específico volumétrico formulado en la Ecuación (14).

$$c_{ev} = c_e \cdot \rho \quad (14)$$

Siendo:

- $c_{ev} \equiv$ Calor específico volumétrico [$\text{J}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$]
- $c_e \equiv$ Calor específico [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]
- $\rho \equiv$ Densidad [kg/m^3]

En la Tabla 12 se observan para algunos materiales de construcción el valor de los tres parámetros descritos con anterioridad.

Tabla 12. Propiedades de algunos materiales de construcción: Densidad, calor específico y calor específico volumétrico

Material	ρ [kg/m^3]	c_e [$\text{J}/(\text{kg} \cdot \text{K})$]	C_{ev} [$\text{kJ}/(\text{m}^3 \cdot \text{K})$]
Acero	7833	465	3642
Vidrio	2700	840	2268
Aire	1,204	1007	1,212
Madera	540	2400	1296
Hormigón	2000	880	1760
Ladrillo	1600	840	1344

Otro parámetro a tener en cuenta en cuanto al almacenamiento de calor es la capacidad térmica o capacidad calorífica. Es la que se ha considerado para la realización del modelo de la vivienda. Es el calor que necesita ser aportado a un sistema para conseguir un cierto aumento de temperatura [31]. Puede ser un valor para la medida de inercia térmica de una vivienda. Permite obtener una idea sobre la capacidad de un sistema de almacenar calor. Cuanto mayor sea la capacidad térmica de un elemento, absorberá o cederá calor de forma más lenta. En la Ecuación (15) se formula esta propiedad. Sus unidades son [J/K].

$$C = \frac{Q}{\Delta T} = c_e \cdot m = c_e \cdot \rho \cdot V = V \cdot c_{ev} \quad (15)$$

Siendo:

- $Q \equiv$ Calor absorbido por el sistema [J]
- $\Delta T \equiv$ Variación de temperatura [K]
- $m \equiv$ Masa de la sustancia considerada [kg]

3.1.3 Cargas térmicas

En cuanto al estudio térmico de una vivienda o edificio se han expuesto procesos como los involucrados en la transmisión de calor o la acumulación de calor. Pero a la hora de calcular la demanda energética es necesario tener en cuenta las cargas térmicas de la vivienda. Ser conscientes y tener datos sobre ciertos parámetros que se expondrán a continuación.

Una carga térmica es la cantidad de energía térmica por unidad de tiempo que un sistema intercambia con el exterior debido a diferentes condiciones en cuanto al confort térmico tanto en el interior como en el exterior.

Para poder diseñar un sistema de climatización adecuado es fundamental la determinación de las cargas térmicas de la vivienda ya que esto permitirá alcanzar unas condiciones de confort óptimas y un ahorro energético considerable [32]. Para realizar el estudio se deben conocer tanto las solicitudes exteriores (clima) como las interiores (ocupantes, equipos e iluminación).

Externas

Según el Código Técnico de Edificación [24] las solicitudes exteriores son las acciones del clima sobre la vivienda en cuestión. Los factores que definen un clima son la temperatura, la humedad, las precipitaciones, el viento y la radiación solar. En cuanto a los edificios los que más influyen son la radiación solar y la temperatura. La radiación solar puede afectar de diferente forma a un edificio en función de la ubicación y orientación. El CTE para facilitar los cálculos relacionados con el balance energético y las posibles demandas energéticas establece un conjunto de zonas climáticas donde define un clima de referencia para las épocas de invierno y verano. Se puede observar en la Figura 40. En el apartado de anexos, 8.4 , se presenta la tabla de las zonas climáticas establecidas por el CTE.



Figura 40. Representación de las zonas climáticas según el CTE. Letras en invierno. Números en verano.
Fuente: Grupo Inalsa

Internas

Según el Código Técnico de Edificación [24] las solicitudes interiores se generan en el interior del edificio por el aporte de energía de los ocupantes, los equipos y la iluminación. Puede ser calor aportado o extraído por diferentes fuentes. Una de las fuentes que más influencia tiene son los equipos de climatización ya que son los encargados de modificar la temperatura del interior de la vivienda con facilidad. Para poder determinar la calificación energética de un edificio se asumen diferentes valores estandarizados. Pero lo cierto es que pueden influir multitud de factores, desde percepciones de confort, costumbres habituales, etc. por lo que la obtención de las cargas internas reales es una labor complicada.

Para poder realizar un estudio de previsión de cargas térmicas es necesario tener un conocimiento previo de la vivienda. Este estudio puede servir para estimar la potencia y la demanda energética que necesitará el local. Lo primero que se requiere es conocer las características térmicas y los elementos principales de la vivienda objeto. En la Tabla 13 se muestran algunos de los elementos principales a conocer antes de empezar el estudio.

Tabla 13. Características a conocer antes de realizar el estudio de cargas térmicas de la vivienda

Altura de pared y techo	Localización	Tipo de construcción y materiales en el piso
Área de vidrio que da al exterior	Número de bombillas	Tipo de construcción y materiales en el techo
Condiciones exteriores (clima)	Número promedio de ocupantes	Tipo de construcción y materiales en paredes
Condiciones interiores	Objetivo del local (viviendas, oficinas, etc.)	Tipo de iluminación
Equipos (Televisor, ordenador, lavadora, etc.)	Plano arquitectónico	Tipo de marco de ventana o puertas de vidrio
Factores de sombreado (persianas, etc.)	Tipo de construcción y materiales de tabiquería	Tipo de vidrio

Los tipos de carga a estudiar son los siguientes:

- *Por radiación a través de los vidrios con el exterior:* La radiación a través de los vidrios es una de las cargas más importantes de la vivienda. Depende del área total de vidrio [m^2], de las máximas aportaciones solares a través del mismo $Q_{R\text{pico}}$ [W/m^2], del factor de almacenamiento F_A y el factor de sombreado F_S . Se formula en la Ecuación (16). Los valores de radiación solar pueden estar expuestos en diversos documentos. Los factores de corrección se pueden

encontrar en el documento CTE-DB HE *Ahorro de energía* [24]. En el apartado de anexos, en 8.5, se muestra el extracto para el cálculo del factor de corrección, F .

$$Q = A \cdot Q_{R\text{pico}} \cdot F_A \cdot F_S \quad (16)$$

- *Por conducción y convección en vidrios:* Depende del área total del vidrio, el coeficiente global de transferencia del vidrio y la diferencia de temperaturas. En la Ecuación (17) se observa.

$$Q = A \cdot U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (17)$$

- *Por conducción, convección y radiación por paredes y techos en el exterior:* En este caso se aplican los conceptos vistos en el apartado 3.1.1. Se distingue entre el área [m²] de la pared o el techo donde da el sol y donde da la sombra. Además, está presente el coeficiente global de transferencia [W/(m²·°C)] para los materiales del techo y de la pared y la diferencia de temperaturas [°C]. En la Ecuación (18) se muestra este proceso.

$$Q = A_{\text{sombra}} \cdot U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) + A_{\text{sol}} \cdot U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (18)$$

- *Por tabiques, particiones, techo y piso:* Esta carga es considerada en caso de vivienda en piso intermedio de un edificio de varios niveles. Depende del área del tabique y del piso o techo [m²], del coeficiente de transferencia global [W/(m²·°C)] y la diferencia de temperaturas [°C]. Mostrado en la Ecuación (19).

$$Q = A \cdot U \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (19)$$

- *Por infiltración y ventilación:* La infiltración hace referencia al aire que pasa a través de aberturas en el edificio. Puede ser a través de puertas abiertas, rendijas, etc. La ventilación hace referencia al concepto de renovación del aire en el interior de la vivienda. Esta consideración está en normativa y es considerada para establecer un estado de confort e higiene. Estas dos

características afectan tanto a la temperatura de la estancia como a la humedad. La carga térmica depende de estos factores: Volumen o caudal de aire a introducir en el espacio [m^3/s], diferencia de temperaturas [$^{\circ}\text{C}$], diferencia de humedades absolutas, densidad del aire y calor específico. Se distingue entre carga sensible (20) y carga latente (21).

$$Q_{\text{SENSIBLE}} = \rho \cdot c_{e,\text{aire}} \cdot V_a \cdot (T_{\text{ext}} - T_{\text{int}}) \quad (20)$$

Siendo:

- $\rho \equiv$ Densidad = 1,2 [kg/m^3]
- $c_{e,\text{aire}} \equiv$ Calor específico del aire = 1.007 [$\text{J}/(\text{kg} \cdot ^{\circ}\text{C})$]

$$Q_{\text{LATENTE}} = \rho \cdot c_{e,\text{agua}} \cdot V_a \cdot (w_{\text{ext}} - w_{\text{int}}) \quad (21)$$

- *Por ocupantes:* este es un tipo de carga que varía en todo momento. Una persona está continuamente emitiendo calor (respirando, sudando), y depende del tipo de actividad que se esté realizando y de la temperatura que exista. Existen factores tabulados en función del tipo de actividad que se realiza. Una persona emite radiación hacia los demás cuerpos debido a que la temperatura de la misma es superior a la de los sistemas que la rodean. También produce convección ya que la superficie de la piel está a mayor temperatura que la del aire de alrededor. Produce conducción en el momento que se pone en contacto con los objetos del lugar. En el momento de la respiración también se produce una carga. El aire exhalado aporta calor y vapor de agua, que variará la humedad relativa. Por último, la evaporación en los poros, que puede ser de gran relevancia en verano. Se distingue entre calor latente y calor sensible. En el apartado de anexos, 8.6 , se muestra una tabla, Tabla 26 , con la estimación de dichos calores en función de la temperatura y de la actividad [33]. Se adjunta también los perfiles de uso normalizados de los edificios por el CTE (solicitaciones interiores) [24].

$$Q_{\text{sensible}} = n \cdot C_{\text{sensible}} \quad (22)$$

Siendo:

- $n \equiv$ el número de ocupantes en la estancia
- $C_{sensible} \equiv$ Calor sensible por persona y actividad, Tabla 26.

$$Q_{latente} = n \cdot C_{latente} \quad (23)$$

Siendo:

- $n \equiv$ el número de ocupantes en la estancia
- $C_{latente} \equiv$ Calor latente por persona y actividad, Tabla 26.

- *Por iluminación:* La iluminación es una fuente de calor importante en los edificios y que depende principalmente del número de luces que exista en el interior de la vivienda. También es importante las horas que estén encendidas, la potencia que tengan y el tipo de que sean. Se va a considerar que la potencia eléctrica de las mismas se transforma en calor [W]. Es necesario hacer distinción entre lámparas incandescentes (24) y lámparas fluorescentes (25).

$$Q_{incandescente} = n \cdot Pot_{incandescente} \quad (24)$$

$$Q_{fluorescente} = 1,25 \cdot n \cdot Pot_{fluorescente} \quad (25)$$

Siendo:

- $n \equiv$ Número de lámparas incandescentes o fluorescentes respectivamente
 - El factor de 1,25 por carga de iluminación fluorescente se añade para introducir el consumo de las reactancias.
- *Por equipos:* La carga térmica depende de la eficiencia del equipo. Es decir, la carga que proporcionan los equipos de la vivienda (televisores, cafeteras, etc.) es la potencia de los equipos. La totalidad de la potencia se convierte en calor. Como los equipos no funcionan todos a la vez, se aplica un coeficiente de simultaneidad a la suma obtenida.

3.1.4 Confort térmico

Es importante tener conocimiento sobre este parámetro ya que es uno de los que más influencia tiene en la comodidad y en el bienestar de los ocupantes de una estancia. Tiene relevancia en el estudio de balances energéticos de los edificios, en el tema de eficiencia y las rehabilitaciones energéticas. Se han realizado numerosos estudios como [34], que al igual que en este proyecto, pretenden reducir tanto el coste como la demanda de energía, pero maximizando el confort de las personas. El confort térmico influye en cómo se diseñan los edificios y cuánta energía es necesaria para calentar o enfriar los mismos.

Según la norma ISO 7730 [1] el confort térmico se define como “Estado de ánimo o condición de la mente que expresa la satisfacción con el ambiente térmico”. Esta definición es generalmente aceptada, pero es subjetiva. Es decir, el confort térmico queda determinado por la opinión de una persona. La persona califica un ambiente confortable cuando no siente ningún tipo de incomodidad térmica. Existe el confort térmico cuando se dan unas condiciones de temperatura, humedad y movimientos de aire favorables a la actividad de las personas [35].

El Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios [20] trata el tema de confort térmico en el apartado *IT 1.1 Exigencia de bienestar e higiene*. Según el reglamento la calidad de ambiente térmico es función de los siguientes parámetros ambientales:

- Temperatura seca del aire [°C]
- Humedad relativa u otra magnitud que determine un punto sobre el diagrama del aire húmedo [%]
- Temperatura radiante media de los cerramientos del recinto [°C]
- Velocidad media del aire [m/s]

Existen otros parámetros relativos a las personas:

- Actividad metabólica [met]
- Grado de vestimenta [clo]

Otros factores físicos ampliamente utilizados y derivados de los anteriores se detallan a continuación.

- Temperatura media radiante (T_{rm}) es función de la temperatura de globo (T_G), la temperatura seca del aire (T_s) y la velocidad del aire (v_a). Se puede definir como la temperatura uniforme y única de un cuerpo con la que una persona intercambia la misma cantidad de calor que con su entorno. En la Ecuación (26) viene expresado su valor.

$$T_{rm} = T_G + 1,9 * (T_G - T_s) \cdot v_a^{1/2} \quad (26)$$

- Temperatura operativa (T_o) es el factor más usado en cuanto a confort térmico en ambientes interiores de edificios. Es la temperatura a la que debe estar el aire y las paredes de una estancia para que una persona intercambie con él el mismo calor sensible que en un local de origen. Depende de la temperatura radiante media, de la temperatura seca y de los coeficientes de convección y radiación, h_c y h_r respectivamente. Se formula en la Ecuación (27).

$$T_o = \frac{h_r \cdot T_{rm} + h_c \cdot T_s}{h_r + h_c} \quad (27)$$

- Temperatura efectiva (T_e) expresa la sensación de calor o frío de una persona expuesta a ciertas condiciones de temperatura, humedad y velocidad del aire. Se puede identificar como la temperatura ambiente con 50% HR y velocidad del aire de 0,2 m/seg. Depende del ambiente y de la actividad.

Si se habla de zona ocupada se hace referencia a lo mostrado en la Figura 41 . es la zona ocupada la que debe tener los límites establecidos sobre bienestar y confort.

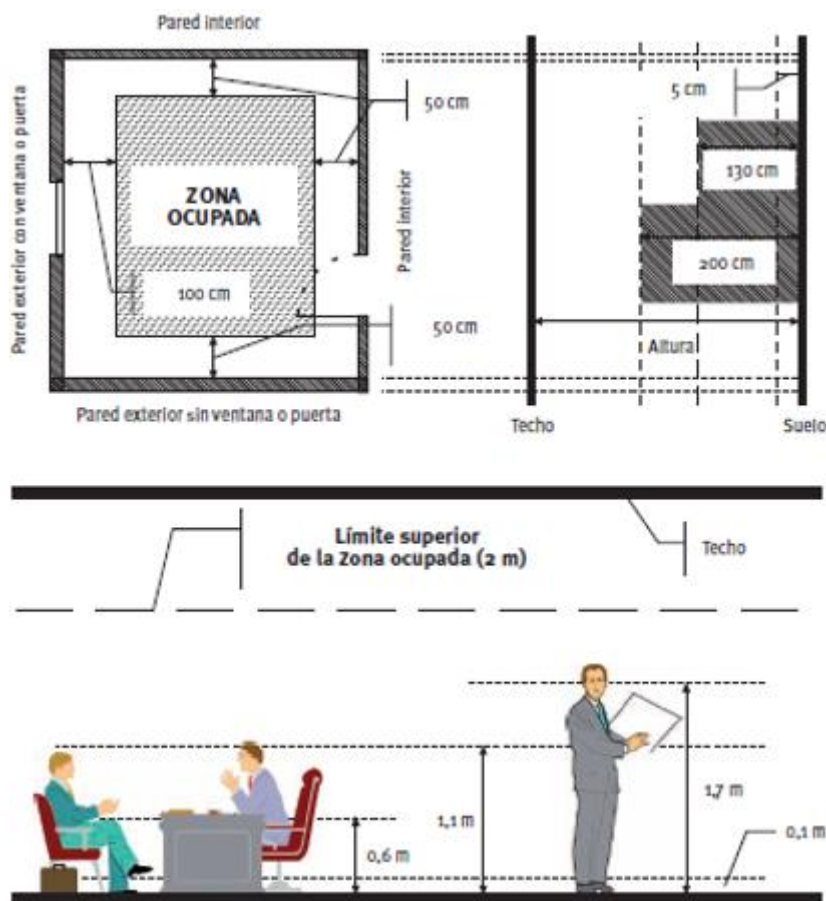


Figura 41. Zona ocupada según RITE. Fuente: Adaptado de [20]

Tanto los valores de temperatura operativa como de humedad relativa en la zona de confort quedan establecidos en el Reglamento de Instalaciones Técnicas de los Edificios [20] para personas con una actividad metabólica de 1,2 met, con grado de vestimenta de 0,5 clo en verano y 1 clo en invierno y con un porcentaje de personas insatisfechas (PPD) entre 10 y 15%. Dichos valores se pueden observar en la Tabla 9. Para valores diferentes se utilizarán los métodos de cálculo indicados en la norma UNE-EN ISO 7730 [1].

En cuanto a la velocidad media del aire el Reglamento de Instalaciones Térmicas de los Edificios establece unos límites. Expone como calcular dentro de la zona ocupada

[20]. Para valores de temperatura seca del aire entre 20 °C y 27 °C se calculará a través de la Ecuación (28) y la Ecuación (29).

- Con difusión por mezcla, PPD por corrientes de aire del 15 % e intensidad de turbulencia del 40 %:

$$v = \frac{t}{100} - 0,07 \quad [\text{m/s}] \quad (28)$$

- Con difusión por desplazamiento, PPD por corrientes de aire menor que el 10 % e intensidad de la turbulencia del 15 %:

$$v = \frac{t}{100} - 0,10 \quad [\text{m/s}] \quad (29)$$

Para otro valor de porcentaje de personas insatisfechas (PPD), se puede calcular a través de lo establecido en la norma UNE-EN ISO 7730 y UNE-EN 13779.

El RITE [20] establece también una serie de situaciones que provocan discomfort, o malestar térmico que son las siguientes.

- Asimetría en la temperatura radiante media
- Corrientes de aire
- Temperatura del suelo excesivamente alta o baja
- Gradiente vertical de temperatura

Es necesario destacar que el confort o zona de confort puede ser representado gráficamente a través de diagramas psicrométricos. Este tipo de diagramas poseen varias propiedades mencionadas con anterioridad, como la temperatura seca, húmeda y de rocío, humedad específica y relativa, volumen, etc. El diagrama de la Figura 42 se denomina de Givoni, y queda representada la zona de confort en color verde.

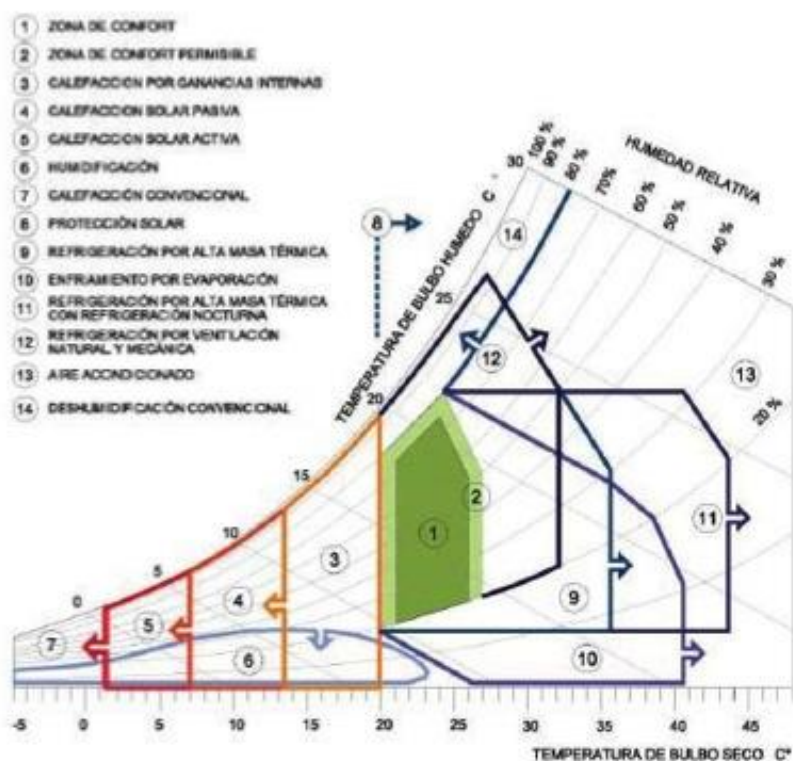


Figura 42. Diagrama psicrométrico de Givoni. La zona de confort se representa en color verde (Givoni, 1969)

Existen otro tipo de diagramas, como el de Olgyay (1963) en el que tiene, además de los parámetros mencionados en el párrafo anterior, parámetros como la temperatura radiante media y la velocidad del viento.

Es importante considerar que la zona de confort debe interpretarse como relativa, es decir, hay que tener en cuenta los cambios en los factores de confort, la época del año en la que se esté (verano, invierno), la vestimenta, o la actividad. La zona de confort se considera flexible.

Según la norma UNE-EN ISO 7730 el índice PMV (Predicted Mean Vote – Voto medio estimado) muestra la opinión de un conjunto de personas sobre su sensación térmica cuando han sido expuestos durante un tiempo determinado a unas condiciones higrométricas concretas. En la Tabla 14 se expone los valores que puede llegar a tener este índice.

Tabla 14. Valores del PMV. Fuente: Adaptado del RITE [20]

PMV	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3
Sensación	Muy caluroso	Caluroso	Lig. caluroso	Neutro	Fresco	Frío	Muy frío

El valor del PMV está relacionado con el balance térmico del cuerpo humano con el entorno que le rodea [20]. El PMV queda determinado a través de una ecuación y en función de los parámetros mencionados al comienzo de este apartado como temperatura seca, humedad, tasa metabólica, etc. Este modelo, para describir la sensación térmica en el interior de viviendas, puede ser más apropiado en algunos contextos que en otros. El modelo de PMV es más preciso en edificios que dispongan de un sistema de aire acondicionado que los que se ventilen de manera natural [36].

Conocido el valor del voto medio estimado puede determinarse el porcentaje de personas insatisfechas (PPD). Si se realiza un gráfico con el PPD en función del PMV queda de la forma que se muestra en la Figura 43 .

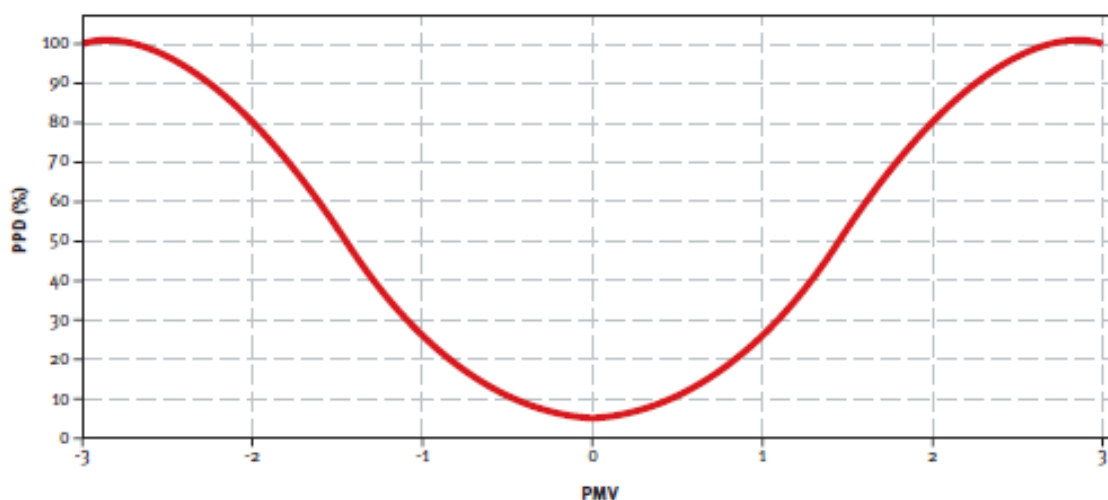


Figura 43. Representación del porcentaje de personas insatisfechas frente al voto medio estimado. Fuente: RITE [20]

Este porcentaje no puede ser menor nunca del 5% como se puede observar en la imagen. Se establecen 3 tipos de categorías:

- Categoría A: $PPD < 6 \%$ → $-0,2 < PMV < +0,2$
- Categoría B: $PPD < 10 \%$ → $-0,5 < PMV < +0,5$
- Categoría C: $PPD < 15 \%$ → $-0,7 < PMV < +0,7$

3.2 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

El programa utilizado es Simulink. Es uno de los recursos que se va a emplear en este proyecto y que adquiere gran importancia. Se explicará de forma detallada en el apartado 4.1, dentro del documento de modelo térmico. Simulink es un entorno de programación de forma visual que se basa en la programación Matlab. Es una herramienta que permite al usuario que la utilice la simulación de sistemas o modelos para interpretar e ir más allá de los fenómenos físicos. En general es un recurso utilizado ampliamente en ingeniería, sobre todo en ingeniería electrónica y de control. Posee multitud de herramientas y de librerías, que ha permitido ampliar sus capacidades y usos.

En este caso Simulink ha servido como herramienta para crear un modelo térmico de vivienda ajustado lo máximo posible a las condiciones reales, es decir, a la vivienda experimental. Se han introducido los diferentes bloques y condiciones y se han colocado de forma adecuada simulando una vivienda real. Se ha trabajado conjuntamente con Matlab para introducir ciertos parámetros, valores y recursos para mejorar su eficacia. Por último, se han visualizado los resultados, aclarando los conceptos.

Es un programa muy completo, dinámico y visual, pero que posee cierto grado de dificultad a la hora de utilizarlo. No es tan sencillo como EasyLog. Información sobre el programa, así como recursos y herramientas para manejarlo de la mejor manera posible vienen descritas en la reseña que se da a continuación [37].

3.3 DATALOGGER PARA CAPTURA DE TEMPERATURAS

EasyLog es un software que se va a emplear durante todo este proyecto. Se explicará más detalladamente en el apartado 5.1, dentro del documento de ensayos experimentales. Ha servido como herramienta para poder observar, analizar, trabajar e incluso dibujar los datos registrados durante todo el trabajo. Es un programa gratuito, de fácil instalación que permite monitorizar y almacenar los datos tomados de una muestra. Es compatible con distintos dispositivos USB, en este caso el EL-21-CFR-2-LCD+, que es el medidor de las diferentes temperaturas durante el proyecto. Este dispositivo muestrea tanto las temperaturas en el interior de la vivienda como la temperatura en el exterior de la misma, y a través del software EasyLog se consiguen almacenar y leer los registros tomados. Se obtienen también datos de humedad relativa y temperatura de rocío. El dispositivo EL-21-CFR-2-LCD+ Es capaz de tomar 16.382 lecturas en un rango de -35°C a $+80^{\circ}\text{C}$ en cuanto a temperaturas y de 0% a 100% en cuanto a la humedad relativa.

El software sencillo de manejar que además de permitir visualizar los datos permite exportarlos en diferentes formatos de forma que se puedan usar de manera más eficaz. Se consigue toda esta información a través de la reseña descrita en la bibliografía [38].

4 MODELO TÉRMICO DE UNA VIVIENDA

Para poder simular un modelo térmico de vivienda en un software equivalente a la vivienda real en cuestión, como se indicó en el apartado de metodología, apartado 3, es necesario realizar el estudio teórico, la previsión de cargas térmicas (3.1.3), así como los datos que aparecen en la Tabla 13.

Toda la información aportada con anterioridad revela la evolución y el proceso riguroso que habría que seguir para poder realizar un modelo de vivienda óptimo. Es decir, muestra todas las características de las que habría que disponer, así como de todos los cálculos y aspectos teóricos que habría que considerar.

Para poder obtener un modelo acorde a la realidad, es necesario disponer de las características térmicas del edificio, la localización, la orientación del mismo, el número de ocupantes de la estancia, el número de ventanas, la cantidad de inmobiliario del piso, la iluminación, conocer la instalación de calefacción, la temperatura del lugar, etc. De esta forma, los cálculos para realizar el modelo llevarán a resultados similares a la vivienda objeto de estudio.

Pero en este caso, no se dispone de tal información. Es necesario destacar que, para este proyecto, y en cuestión, para poder hallar un modelo equivalente con el que poder trabajar, los datos disponibles son escasos. No se puede olvidar que este proyecto surge con motivo de obtener una serie de conclusiones y predicciones sobre el termostato inteligente Toon, y que este tipo de termostato puede ser instalado en cualquier vivienda de España. Es decir, está al alcance de miles de usuarios en distintas zonas geográficas del país y para variedad de viviendas. Cada zona geográfica tiene unas características y cada vivienda dispone de diferentes propiedades, hecho que presenta cierta dificultad a la hora de generalizar resultados. Por lo tanto, para poder sacar ciertas conclusiones se ha de optar por la sencillez.

En este caso a través de los sensores medidores de temperatura se pueden conocer tanto la temperatura existente en el interior de la vivienda como en el exterior de la misma durante un periodo de tiempo determinado. Dicho tiempo se corresponde a aquel en el que el sensor ha estado registrando mediciones de temperatura. Además de esta información, se conoce el funcionamiento de la caldera. Gracias a un sistema

desarrollado por el grupo de investigación en el que se ha realizado este proyecto, se ha conseguido obtener la lectura del contador de gas y registrar dichos datos. Esto proporciona información del momento en el que la caldera de la vivienda objeto ha estado en funcionamiento (On/Off). Por tanto, los datos que se manejan para el modelo y que se aprecian en Figura 44 son:

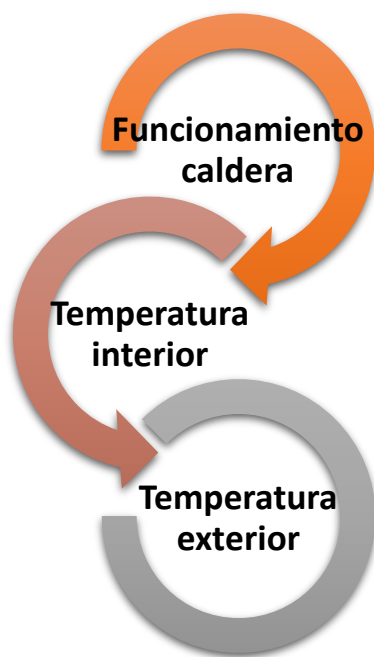


Figura 44. Los parámetros conocidos de la vivienda objeto para resolver el modelo

Como los datos tomados y analizados son de interés para épocas de invierno, donde la calefacción toma gran relevancia en la vivienda se puede obtener un modelo generalista más sencillo que el que podría obtenerse para el análisis en época veraniega.

En dicho modelo, al no disponer de una gran variedad de datos, las principales características con las que se podrá jugar y aparecerán en el mismo son la temperatura interna, la temperatura externa, una fuente de generación de calor, una resistencia térmica y un condensador térmico.

- Temperatura interna: Temperatura en el interior de la vivienda medida por los sensores correspondientes, mencionados con anterioridad. Dicho sensor es

colocado en el mismo punto donde se encuentra el termostato instalado en el hogar.

- Temperatura externa: Temperatura que existe fuera de la vivienda, es decir, en el exterior de la misma. Es también registrada por los sensores explicados.
- Fuente generadora de calor: En este caso, la fuente generadora de calor es la caldera. Ésta proporciona el calor necesario para que exista el confort en la vivienda objeto. Se representa en el modelo a través de la potencia generada por la misma.
- Resistencia térmica: Representa todos aquellos elementos que impiden que la vivienda mantenga la temperatura. Es decir, las pérdidas de calor que se producen en la estancia debida a los distintos elementos involucrados quedan determinadas por dicha resistencia. Ésta provoca que la temperatura no se mantenga constante.
- Condensador térmico: Representa la capacidad que tiene el hogar para almacenar el calor en el interior. Es decir, es una fuente de almacenamiento. Es función de la masa de la vivienda objeto, así como de la capacidad calorífica.

En la Figura 45 se puede apreciar el esquema del modelo de la vivienda, de una forma eléctrica.

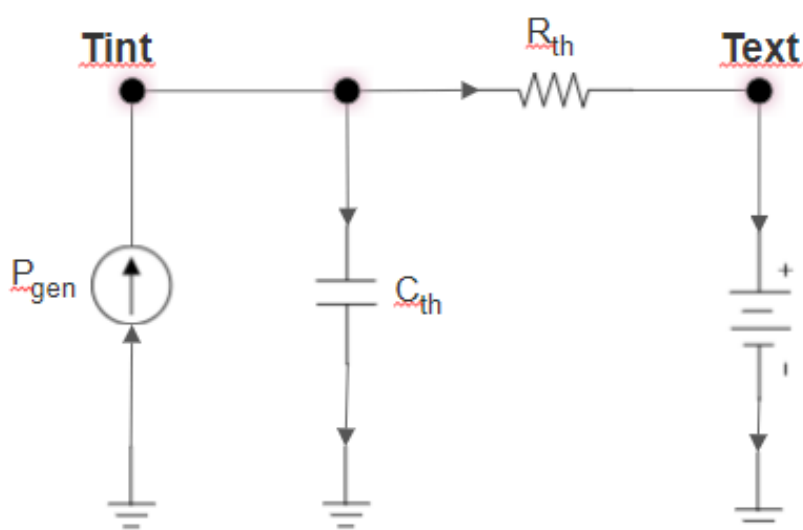


Figura 45. Esquema eléctrico simulación del modelo de la vivienda objeto

Dicho esquema se corresponde con un circuito de primer orden de tipo RC. Este tipo de circuitos se denominan de primer orden ya que sus ecuaciones se corresponden con ecuaciones diferenciales de primer orden. En ellos, la corriente en una capacitancia está relacionada con su voltaje. En este caso la expresión quedaría de la forma que se observa en la Ecuación (30).

$$P_c(t) = C_{th} \cdot \frac{dT_{int}(t)}{dt} \quad (30)$$

Lo que se pretende con este circuito es obtener dos de las características correspondientes del mismo, es decir, los valores de resistencia térmica y de capacitancia, que hasta ahora son desconocidos. El conocimiento de dichos factores aportará resultados satisfactorios y ayudará a conseguir la simulación del modelo de la vivienda.

4.1 HERRAMIENTA DE SIMULACIÓN

El programa utilizado para realizar los ensayos y poder simular de forma dinámica el comportamiento de una vivienda se denomina Simulink. Es uno de los recursos utilizados durante este proyecto que posee una gran importancia en el mismo. Es una herramienta no gratuita que trabaja conjuntamente con Matlab. Simulink es un entorno de programación visual basado en el entorno de programación de Matlab. Es utilizado ampliamente en aspectos ingenieriles, aunque adquiere mayor relevancia en ingeniería electrónica, de control y robótica.

Simulink es una *toolbox* especial de Matlab que sirve para la simulación del comportamiento de modelos o sistemas dinámicos. Es necesario conocer detenidamente los sistemas para poder hacer un análisis de sucesos eficiente [37]. Para este proyecto se ha tenido que tener un conocimiento previo de la vivienda real (comportamientos, registros de temperaturas, análisis de inercia térmica, sistemas de calefacción, costes, etc.) para poder simular el modelo dinámico en Simulink y analizar los resultados acordes a la situación existente.

Permite simular sistemas lineales como no lineales, modelos en tiempo continuo o en tiempo discreto y sistemas híbridos de todos los anteriormente mencionados, es decir, ofrece un amplio rango de posibilidades.

En este caso Simulink ha servido como herramienta para crear un modelo térmico de vivienda ajustado lo máximo posible a las condiciones reales, es decir, a la vivienda experimental. Al ser un entorno gráfico se puede visualizar de manera más interesante. Para construir el modelo se han ido clicando y arrastrando los diferentes bloques hasta la zona de trabajo hasta formar el conjunto correspondiente a la vivienda.

Permite ejecutar simulaciones de modelos, generar código y testear y verificar sistemas. Es posible pasar del concepto al código, diseñando mediante el modelado del sistema y obteniendo el comportamiento de todas las partes del mismo. Se pueden realizar pruebas de forma anticipada y frecuentemente. Es decir, permite ahorrarse prototipos caros realizando pruebas del sistema en unas determinadas condiciones. Es posible, además, generar código automáticamente [37].

El entorno de Simulink permite trabajar con Matlab para introducir ciertos parámetros, valores y recursos que sirvan de utilidad a la hora de diseñar el modelo. Esto es lo que se ha llevado a cabo, es decir, se ha trabajado conjuntamente con Simulink y Matlab. Una vez diseñado el modelo, con los parámetros adecuados se ejecuta y se visualizan los resultados, aclarando los conceptos. Por ejemplo, Matlab se emplea para crear conjuntos de datos de entrada que puedan poner en marcha al modelo construido en Simulink. Se ejecutarán un número indeterminado de simulaciones y a continuación se analizarán y visualizarán los datos en Matlab.

En la Figura 46 se visualiza la página de inicio de Matlab. Como se observa se divide en varias ventanas de trabajo. La parte de la izquierda se trata del directorio en el que se encuentra trabajando el usuario. Es decir, la carpeta o destino desde donde se ejecutarán los códigos. La parte central superior se corresponde con la ventana del editor. Desde ahí se pueden crear funciones, algoritmos, códigos diversos, etc. que se podrán ejecutar una vez finalizados. La parte central inferior se corresponde con la ventana de comandos. A través de ella se podrá escribir directamente ciertas líneas de código o alguna operación y aparecerá visualmente automáticamente una vez haya sido ejecutado. Por último, en la parte derecha de la pantalla se observa la

ventana de trabajo, donde aparecen todas las variables, matrices o valores que se hayan ejecutado durante la operación. Se quedan guardadas y visibles para que sea más práctico para el usuario.

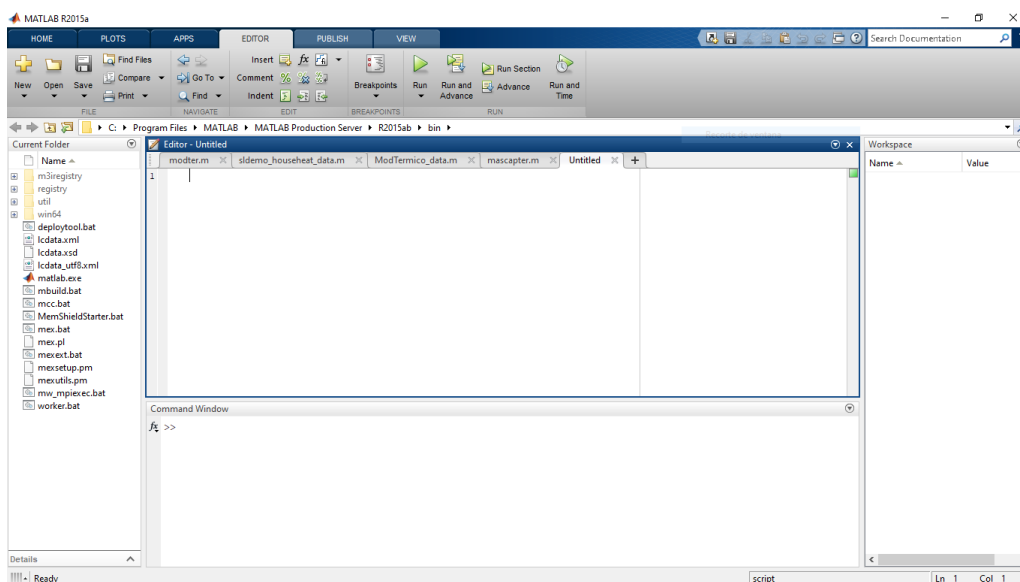


Figura 46. Página de inicio de Matlab

A través de Matlab se pueden analizar datos, desarrollar algoritmos y crear modelos matemáticos. Y parte de este proyecto ha consistido en eso. Es una herramienta que permite combinar un entorno de escritorio para el análisis iterativo y los procesos de diseño con un lenguaje de programación expresando matemáticamente matrices y arrays. [37]

Para abrir la ventana de librería de Simulink puede hacerse escribiendo en la ventana de comandos de Matlab `>>simulink` o haciendo clic en el icono correspondiente a Simulink de la barra de menús. En la

Figura 47 se visualiza esta ventana de librería.

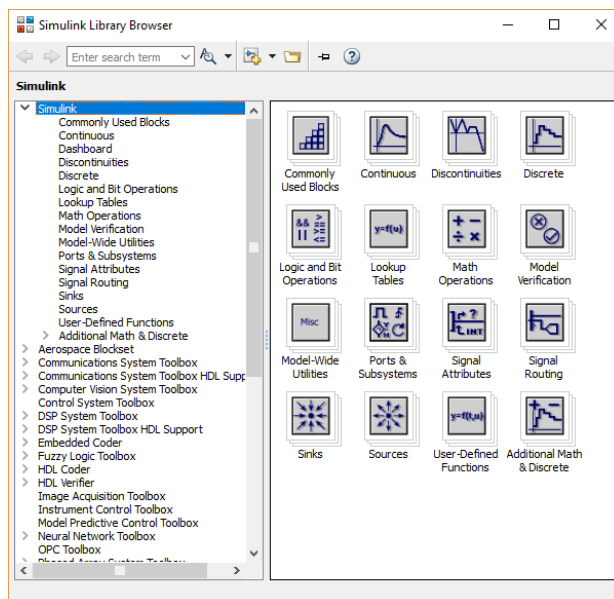


Figura 47. Librería de Simulink

Es un programa muy completo que ha ido mejorando en los últimos años, añadiendo más recursos y ampliando sus capacidades. Destaca el paquete *Stateflow* que permite la simulación de máquinas de estados. En la Figura 48 se puede ver el orden de importancia de cada uno de los programas/paquetes mencionados. Simulink aborda también el tema de las comunicaciones con amplia variedad de bloques, aplicaciones específicas, etc. Existen muchas demos y efectos. En resumen, es un programa con una variedad de campos muy importante y que permite realizar multitud de funciones cuya base principal es el lenguaje de Matlab.

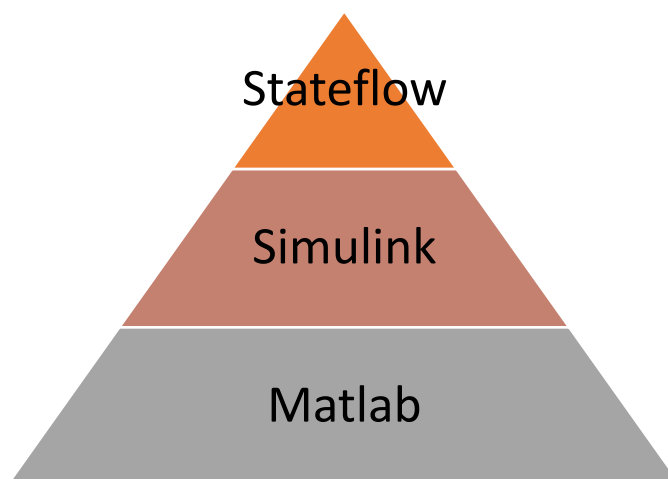


Figura 48. Orden de importancia de los programas/paquetes de MathWorks

Una vez abierta la librería ésta dispone de multitud de bloques que añadir al modelo en función de las preferencias del usuario. La parte derecha de la Figura 49 se corresponde con la página donde el modelo se crea. En la librería se dispone de elementos continuos, discontinuos, discretos, operaciones matemáticas, subsistemas, fuentes, así como una gran lista de funciones.

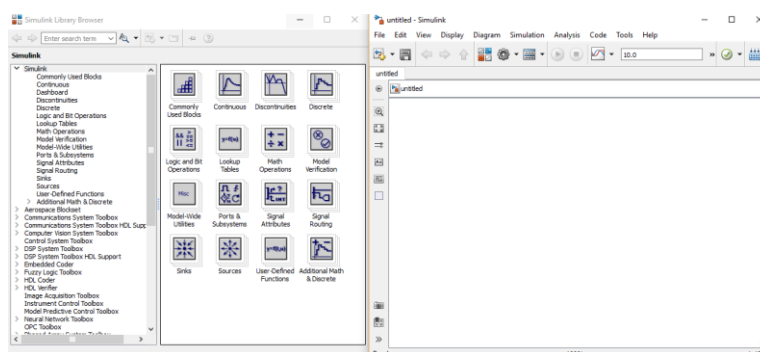


Figura 49. Ventana de librería y construcción del modelo en Simulink

Cada modelo o submodelo se debe construir en una ventana diferente, añadiendo los bloques que correspondan a cada ventana. Para poder unir los diferentes bloques, así como los submodelos con el modelo, la conexión se realiza arrastrando el ratón entre los puertos de entrada y salida de los mismos. Una vez realizado se puede editar y modificar para mejorar la presentación del mismo.

Es un programa muy completo, dinámico y visual, pero que posee cierto grado de dificultad a la hora de utilizarlo. No es tan sencillo como EasyLog y necesita un conocimiento intenso para manejar adecuadamente todos los aspectos involucrados en el mismo.

4.2 OBTENCIÓN DE LOS PARÁMETROS: Rth y Cth

Existen dos formas de interpretar o analizar el circuito de la Figura 45.

- a. La primera de ellas, que se esté aportando calor a la vivienda a través de la fuente generadora y que parte de dicho calor se almacene en la capacitancia

y otra parte salga al exterior a través de la resistencia. Esta fase podría corresponderse al calentamiento de la estancia.

- b. La segunda de ellas es que no se produzca aporte de calor, es decir, que no exista fuente generadora. De esta forma, y según el circuito, el condensador se descarga a través de la resistencia. Esta fase se corresponde con el enfriamiento del hogar.

La idea es manejar una única variable a despejar en cada caso. En el caso del calentamiento de la estancia se utilizará la resistencia térmica (R_{th}). En el caso del enfriamiento de la vivienda la capacitancia térmica (C_{th})

Con los datos obtenidos de temperaturas registradas en el interior de la vivienda, a través del programa EasyLog se observa una gráfica que puede asemejarse a dos tipos de gráficas: la Figura 51, correspondiente al calentamiento interno de la vivienda, y a la Figura 52, correspondiente al enfriamiento de la vivienda. Es por ello, que la gráfica de la Figura 50 correspondiente al proceso de calentamiento y enfriamiento de la vivienda real se puede dividir en dos tipos de procesos. Se emplearán los dos esquemas anteriormente mencionados para calcular los parámetros desconocidos. Es importante destacar que los sensores de temperatura toman valores de medio grado en medio grado, de ahí que en la gráfica de la Figura 50 se observe formas de escalón.

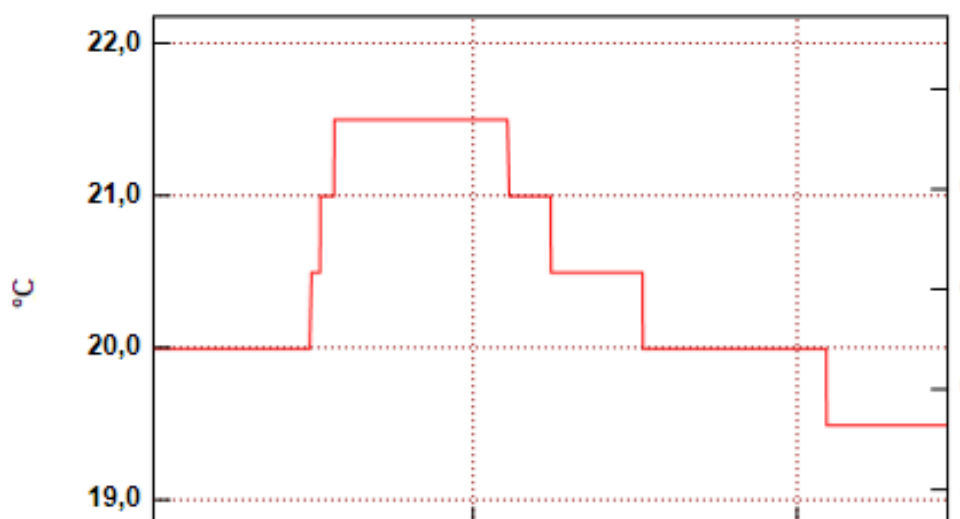


Figura 50. Gráfica del calentamiento y enfriamiento de la vivienda real respecto del tiempo

4.2.1 Calentamiento de la vivienda

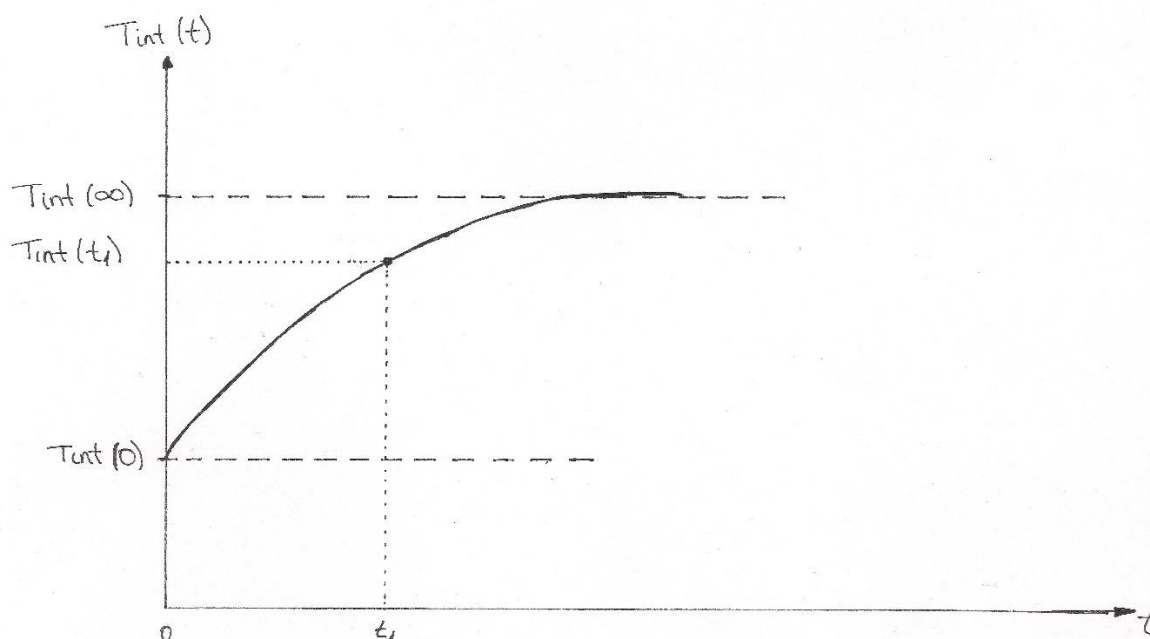


Figura 51. Proceso de calentamiento de la vivienda

En esta parte del proceso térmico en el interior de la vivienda, se obtendrá el valor de la resistencia térmica de la misma. Cuando se produce el calentamiento parte de la energía que aporta la caldera se almacena en la capacitancia y otra parte de la misma se transmite al exterior a través de la resistencia, por conducción. Es por ello que se busca un supuesto régimen permanente en el que no se produzca almacenamiento, debido a que la capacidad se encuentra ya “cargada”.

Será necesario comenzar suponiendo que las temperaturas tanto interna como externa a la vivienda permanecen constantes. Es decir, se supone que no son función del tiempo. Para ello, con ayuda de los datos registrados por los sensores, se busca en el momento de calentamiento intervalos en los que dichas temperaturas no cambian su magnitud y que coincidan cuando la temperatura en el interior de la vivienda sea máxima, es decir, que ésta no pueda almacenar más energía.

Resolviendo el circuito eléctrico de la Figura 45 se obtiene una ecuación de la forma en que se observa en la Ecuación (31) que permitirá determinar el valor de la

resistencia térmica del circuito (R_{th}), asumiendo que los valores de temperatura no son función del tiempo y suponiendo un valor de potencia generada.

$$T_{int} = P_{gen} \cdot R_{th} + T_{ext} \quad (31)$$

Será necesario en este caso suponer un valor de potencia generada para poder obtener algún resultado. El rango de valores de potencia característicos para una caldera que realice su función para el sistema de calefacción y ACS en una vivienda de uso residencial se puede observar en la Tabla 15.

Tabla 15. Valores de potencia de caldera a emplear en la resolución del modelo

Potenica nominal [W]	24.000	20.000
Potencia máx. [W]	20.640	16.000
Potencia min. [W]	3.800	3.400

Estos valores de potencia se corresponde con los propios de la caldera, pero no significa que se aporte todo ello a la estancia. Es decir, para el cálculo de los parámetros que faltan es necesario involucrar aquella potencia calorífica que los emisores correspondientes suministren al local a través del sistema de calefacción. La potencia necesaria para el circuito de agua caliente sanitaria no se tiene en cuenta. Para los datos expuestos a continuación la potencia empleada ha sido de **7.000 W**. Este valor promedio que se ha estimado a través del ensayo descrito en el apartado 5.4, teniendo en cuenta los consumos de gas calculados.

Se han analizado los datos registrados de temperaturas en el mes de Enero de 2018. Los datos se corresponden a los días comprendidos entre el 12 y 30 de enero, ambos incluidos. A través de Excel y del dato de potencia en la caldera junto con las temperaturas, se han calculado distintos valores de resistencia para cada uno de los días anteriormente mencionados. Por último, se ha realizado un promedio, obteniendo el valor de la resistencia térmica de la vivienda. En la Tabla 16 se aprecia dicha descripción, así como el valor del parámetro desconocido.

Tabla 16. Cálculo de la resistencia térmica de la vivienda (R_{th})

Días	Tint	Text	$R_{th}(^{\circ}\text{C/W})$
12-ene	21,5	12,5	0,00129
13-ene	21	11	0,00143
13-ene	21,5	11	0,00150
14-ene	22	12	0,00143
14-ene	22	11,5	0,00150
14-ene	22,5	11	0,00164
15-ene	21,5	13	0,00121
15-ene	21,5	13,5	0,00114
16-ene	22	15,5	0,00093
16-ene	22,5	15,5	0,00100
17-ene	21,5	13,5	0,00114
17-ene	21,5	14	0,00107
17-ene	21,5	13	0,00121
18-ene	21,5	14	0,00107
19-ene	21,5	14	0,00107
19-ene	21,5	13,5	0,00114
20-ene	21,5	16	0,00079
20-ene	21,5	15,5	0,00086
21-ene	21,5	16	0,00079
22-ene	21,5	16,5	0,00071
22-ene	21,5	16	0,00079
23-ene	21,5	15,5	0,00086
23-ene	21,5	15	0,00093
23-ene	21,5	14,5	0,00100
24-ene	21,5	15	0,00093
24-ene	21,5	14,5	0,00100
25-ene	21,5	12	0,00136
25-ene	21,5	11,5	0,00143
26-ene	21,5	12,5	0,00129
28-ene	20	10,5	0,00136
29-ene	21,5	12	0,00136
30-ene	21,5	11,5	0,00143
30-ene	21,5	12	0,00136

$R_{th} = 0,00115 (^{\circ}\text{C/W})$

4.2.2 Enfriamiento de la vivienda

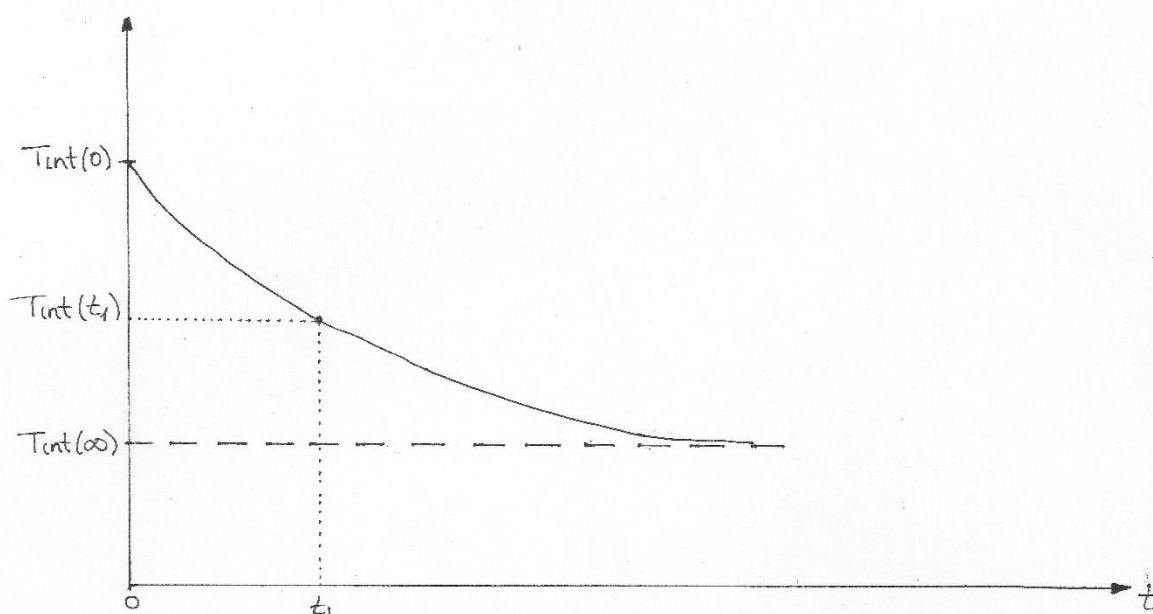


Figura 52. Proceso de enfriamiento de la vivienda

Una vez hallado el valor de la resistencia térmica del circuito se procede al cálculo de la capacitancia del mismo. La resistencia se obtuvo suponiendo un régimen permanente donde la capacidad estaba completamente cargada. Pues bien, en este proceso se podrá calcular la capacidad de la vivienda suponiendo la descarga de la misma. Es decir, no existe fuente generadora de energía, la vivienda se está enfriando y se asume que el condensador se “descarga”. Para ello se emplean las ecuaciones generales para resolver un circuito de primer orden como el de la Figura 45, en el proceso de enfriamiento, es decir, sin fuente generadora. Dicho proceso se puede observar en la Figura 52, así como los términos que se emplearán en las siguientes ecuaciones.

$$T_{int}(t) = T_{int}(\infty) + [T_{int}(0) - T_{int}(\infty)] \cdot e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (32)$$

La Ecuación (32) representa el proceso de enfriamiento de la vivienda con respecto al tiempo. Es decir, la evolución de la temperatura interior de la vivienda en función del tiempo. Siendo:

$$\tau \equiv \text{constante de tiempo} = R_{th} \cdot C_{th} \quad (33)$$

$$\Delta T_{int}(\infty) = T_{int}(0) - T_{int}(\infty) \quad (34)$$

La Ecuación (33) representa la constante de tiempo del proceso, del circuito de primer orden. A través de dicha ecuación se obtendrá la capacitancia térmica del circuito ya que la resistencia se encuentra caracterizada. La Ecuación (34) por otro lado, representa el incremento de temperaturas en el interior de la vivienda. Es decir, la diferencia de temperaturas desde que se inicia el proceso hasta la temperatura que se alcanza al final del proceso, transcurrido un tiempo muy elevado.

Si se desea caracterizar para un tiempo concreto, de valor t_1 como se muestra en la Figura 52 el proceso de obtención de la capacidad será de la siguiente forma.

$$T_{int}(t_1) = T_{int}(\infty) + \Delta T_{int}(\infty) \cdot e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (35)$$

Despejando la Ecuación (35):

$$\frac{T_{int}(t_1) - T_{int}(\infty)}{\Delta T_{int}(\infty)} = e^{-\frac{t_1}{\tau}} \quad (36)$$

Se denomina al término de la izquierda de la Ecuación (36) como α mostrado en la Ecuación (37):

$$\alpha = \frac{T_{int}(t_1) - T_{int}(\infty)}{\Delta T_{int}(\infty)} \quad (37)$$

Despejando y aplicando las propiedades de los logaritmos se obtiene:

$$e^{-\frac{t_1}{\tau}} = \alpha \quad (38)$$

$$-\frac{t_1}{\tau} = \ln(\alpha) \quad (39)$$

Por tanto, la constante de tiempo viene dada por la Ecuación (40)

$$\tau = -\frac{t1}{\ln(\alpha)} \quad (40)$$

Finalmente, la capacitancia del circuito objeto, y por tanto, la representación del almacenamiento de calor de la vivienda en cuestión será el resultado de la Ecuación (41).

$$C_{th} = \frac{\tau}{R_{th}} \quad (41)$$

Este proceso se inicia conociendo el parámetro de resistencia térmica. Al igual que en el caso anterior, se han analizado los datos registrados de temperaturas en el mes de Enero de 2018. Los datos se corresponden a los días comprendidos entre el 12 y 30 de enero, ambos incluidos. A través de Excel y con los datos de resistencia térmica, temperaturas interiores en la vivienda, tiempos requeridos para la evolución de la temperatura y dependiente todo de la potencia suministrada, se calculan distintos valores de capacitancia térmica en función de los días de estudio. Se ha realizado un promedio, obteniendo el valor final de la capacidad del hogar.

Como el valor de la masa termica es función de dicha capacidad, se determina a través de la Ecuación (42)

$$C_{th} = c \cdot M \quad (42)$$

Donde:

- $c \equiv$ capacidad calorífica específica
- $M \equiv$ masa de la sustancia considerada

En principio se considera que es el aire el único elemento que almacena calor, con el objetivo de conocer un valor de calor específico, c . En realidad, habría que considerar los muebles, suelos, paredes, etc. es decir, todos los objetos que sean capaces de almacenar calor.

Los datos analizados y calculados anteriormente mencionados aparecen a continuación en la Tabla 17.

Tabla 17. Cálculo de la capacidad calorífica de la vivienda (C_{th}) y masa térmica (M)

		Tint (∞)	Tint (t)	Tint (0)	ΔT (∞)	Tiempo (s)	α	τ	Cth (J/°C)
12-ene	21:30-00:00	19,5	21	21,5	2	9.000	0,75	31.284,5	27.168.149,2
12-ene	21:30-2:11	19,5	20,5	21,5	2	16.860	0,50	24.323,8	21.123.333,3
12-ene	21:30-5:50	19,5	20	21,5	2	30.000	0,25	21.640,4	18.793.001,2
13-ene	17:43-22:00	19,5	21	21,5	2	15.420	0,75	53.600,8	46.548.095,7
13-ene	17:43-2:17	19,5	20,5	21,5	2	30.840	0,50	44.492,7	38.638.410,4
13-ene	17:43-5:26	19,5	20	21,5	2	42.180	0,25	30.426,4	26.422.959,7
14-ene	22:25-1:28	19,5	21,5	22,5	3	10.980	0,67	27.080,0	23.516.852,5
14-ene	22:25-8:09	19,5	20,5	22,5	3	35.040	0,33	31.894,8	27.698.100,6
15-ene	21:40-00:32	19,5	21	21,5	2	10.320	0,75	35.872,9	31.152.811,1
15-ene	21:40-3:31	19,5	20,5	21,5	2	21.060	0,50	30.383,2	26.385.373,7
15-ene	21:40-9:40	19,5	20	21,5	2	43.200	0,25	31.162,2	27.061.921,7
16-ene	23:25-1:11	20	21,5	22,5	2,5	6.360	0,60	12.450,4	10.812.217,8
16-ene	23:25-3:19	20	21	22,5	2,5	14.040	0,40	15.322,6	13.306.509,8
16-ene	23:25-7:23	20	20,5	22,5	2,5	28.680	0,20	17.819,9	15.475.164,1
17-ene	22:16-2:04	19,5	21	21,5	2	13.680	0,75	47.552,5	41.295.586,8
17-ene	22:16-4:33	19,5	20,5	21,5	2	22.620	0,50	32.633,8	28.339.845,8
17-ene	22:16-9:40	19,5	20	21,5	2	41.040	0,25	29.604,1	25.708.825,6
18-ene	21:45-0:06	19,5	21	21,5	2	8.460	0,75	29.407,5	25.538.060,3
18-ene	21:45-2:00	19,5	20,5	21,5	2	15.300	0,50	22.073,2	19.168.861,2
18-ene	21:45-7:05	19,5	20	21,5	2	33.600	0,25	24.237,3	21.048.161,3

19-ene	21:45-1:08	19,5	21	21,5	2	12.180	0,75	42.338,4	36.767.562,0
19-ene	21:45-3:27	19,5	20,5	21,5	2	20.520	0,50	29.604,1	25.708.825,6
19-ene	21:45-9:11	19,5	20	21,5	2	41.160	0,25	29.690,7	25.783.997,6
20-ene	21:16-1:38	20	21	21,5	1,5	15.720	0,67	38.770,3	33.668.936,4
20-ene	21:16-5:10	20	20,5	21,5	1,5	28.440	0,33	25.887,2	22.480.992,6
21-ene	21:02-1:36	20	21	21,5	1,5	16.440	0,67	40.546,0	35.211.025,1
21-ene	21:02-8:04	20	20,5	21,5	1,5	39.720	0,33	36.154,7	31.397.504,4
22-ene	21:15-0:40	20	21	21,5	1,5	12.300	0,67	30.335,5	26.344.015,1
22-ene	21:15-6:33	20	20,5	21,5	1,5	33.480	0,33	30.474,8	26.464.966,0
23-ene	22:36-2:18	20	21	21,5	1,5	13.320	0,67	32.851,2	28.528.640,8
23-ene	22:36-6:27	20	20,5	21,5	1,5	28.260	0,33	25.723,4	22.338.707,8
24-ene	21:10-23:58	19,5	21	21,5	2	10.080	0,75	35.038,7	30.428.327,1
24-ene	21:10-2:55	19,5	20,5	21,5	2	20.700	0,50	29.863,8	25.934.341,6
24-ene	21:10-9:45	19,5	20	21,5	2	45.300	0,25	32.677,0	28.377.431,8
25-ene	20:32-23:55	19,5	21	21,5	2	12.180	0,75	42.338,4	36.767.562,0
25-ene	20:32-2:08	19,5	20,5	21,5	2	20.160	0,50	29.084,7	25.257.793,6
25-ene	20:32-6:28	19,5	20	21,5	2	35.760	0,25	25.795,4	22.401.257,4
26/27 / enero	22:02-2:18	17,5	20,5	21,5	4	15.360	0,75	53.392,3	46.366.974,7
26/27 enero	22:02-10:35	17,5	19,5	21,5	4	45.180	0,50	65.181,0	56.604.519,6
26/27 enero	22:02-18:49	17,5	19	21,5	4	74.820	0,38	76.282,4	66.245.233,8
26/28 enero	22:02-3:31	17,5	18,5	21,5	4	106.140	0,25	76.563,8	66.489.638,2
26/28 enero	22:02-13:44	17,5	18	21,5	4	142.920	0,13	68.730,0	59.686.571,8
28-ene	23:11-0:42	18	19,5	20	2	5.460	0,75	18.979,3	16.482.010,5

28-ene	23:11-3:00	18	19	20	2	13.740	0,50	19.822,6	17.214.389,1
28-ene	23:11-8:38	18	18,5	20	2	34.020	0,25	24.540,2	21.311.263,4
29-ene	23:05-0:20	18,5	20,5	21,5	3	4.500	0,67	11.098,4	9.638.054,3
29-ene	23:05-5:37	18,5	19,5	21,5	3	23.520	0,33	21.408,8	18.591.875,7
29-ene	23:05-10:52	18,5	19	21,5	3	42.420	0,17	23.675,1	20.559.914,3

Cth= 29.130.304 (J/°C)

El valor indicado de capacidad térmica se corresponde con la capacidad de almacenamiento de calor de toda la vivienda, incluidos el aire, suelos, paredes, muebles, etc.

Si se desea determinar la capacidad de almacenamiento de calor de la masa de aire, así como dicha masa de aire será necesario contar con los parámetros mostrados a continuación, así como suponer el área del piso en cuestión. Se utilizan algunas características tabuladas del aire, para unas condiciones de 1 atm de presión y a una temperatura de 20 °C.

- $\rho \equiv$ Densidad del aire [kg/m^3] = 1,204
- $c =$ Capacidad calorífica específica del aire [$\text{J}/(\text{kg}\cdot^\circ\text{C})$] = 1.007

Con los parámetros calculados anteriormente se pueden obtener algunas de las características de la vivienda. Suponiendo un área de vivienda igual a 90 m² y una altura de la misma de 2,5 m, se calcula el volumen de aire del lugar como muestra la Ecuación (43) .

$$V_{\text{aire}} = \text{Área} \cdot \text{Altura} = 90 \cdot 2,5 = 225 \text{ m}^3 \quad (43)$$

Una vez calculado el volumen de aire, a través de la Ecuación (44) se calcula la masa de aire de la vivienda.

$$M_{aire} = \rho \cdot V_{aire} = 1,204 \cdot 225 = 270,9 \text{ kg} \quad (44)$$

Conocido el parámetro de la masa de aire de la vivienda, se calcula la capacidad térmica del mismo a través de la Ecuación (47). Las unidades correspondientes son [J/°C].

$$C_{aire} = c \cdot M_{aire} = 1007 \cdot 270,9 = 272.796,3 \quad (45)$$

Por tanto, si se resta a la capacidad de almacenamiento térmica total la capacidad térmica del aire, se calcula el valor de la capacidad de almacenamiento del resto de objetos de la vivienda en [J/°C]. En la Ecuación (46) aparece el valor de dicha capacidad.

$$C_{objetos} = C_{th} - C_{aire} = 29.130.304 - 272.796 = 28.857.508 \quad (46)$$

5 ENSAYOS EXPERIMENTALES

En este apartado se van a exponer los distintos tipos de ensayos y experimentos que se han llevado a cabo con el fin de obtener un resultado satisfactorio. Se han llevado a cabo distintas medidas que han ayudado a cumplir el objetivo de este proyecto. Tanto el análisis de datos registrados, el empleo de distintos softwares, el montaje de pequeños modelos simulando situaciones reales, etc.

Los resultados y las conclusiones obtenidas sirven de fundamento para corroborar el funcionamiento, el tipo de uso y los beneficios de la instalación de este tipo de termostato inteligente.

5.1 DATALOGGER PARA CAPTURA DE TEMPERATURAS

El software empleado para estos ensayos experimentales se denomina EasyLog 21CFR Part 11. Es un software gratuito de fácil instalación suministrado por Lascar Electronics que permite a los usuarios un almacenamiento de datos de acuerdo a unas regulaciones vigentes. Permite acumular monitorizar y almacenar los datos tomados de una muestra particular. Este software es compatible con seis dispositivos USB independientes, en este caso el empleado es EL-21-CFR-2-LCD+, que monitoriza la temperatura, la humedad relativa y la temperatura de rocío con una precisión mayor que el modelo anterior EL-21-CFR-2-LCD. Conectando el dispositivo al puerto USB de un PC y con el programa mencionado se podrá visualizar los datos tomados [38]. En la Figura 53 se puede observar la pantalla de inicio del software. En la Figura 54 , las tres funciones a realizar en el programa.

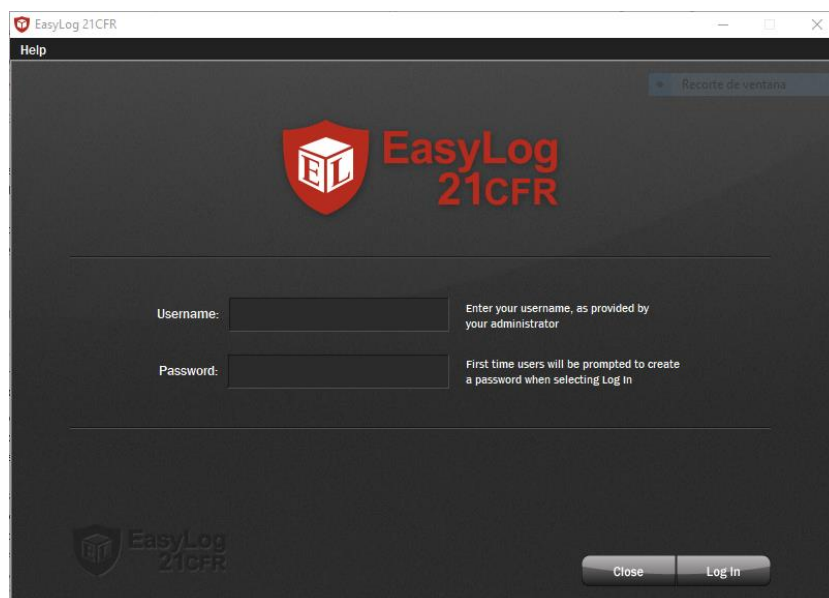


Figura 53. Pantalla de inicio de sesión en el programa EasyLog 21CFR

La ventaja de este software frente al que había anteriormente, EasyLog, es que incluye datos encriptados que no pueden ser editados, inspección completa de actividades, uso basado en permisos y firmas electrónicas. Se producen avisos que llegan a un correo si se producen errores o fallos en el inicio de sesión. Es un programa a través del cual, el usuario propietario de un sensor, es capaz de visualizar los datos muestreados, así como analizar y trabajar con ellos posteriormente.

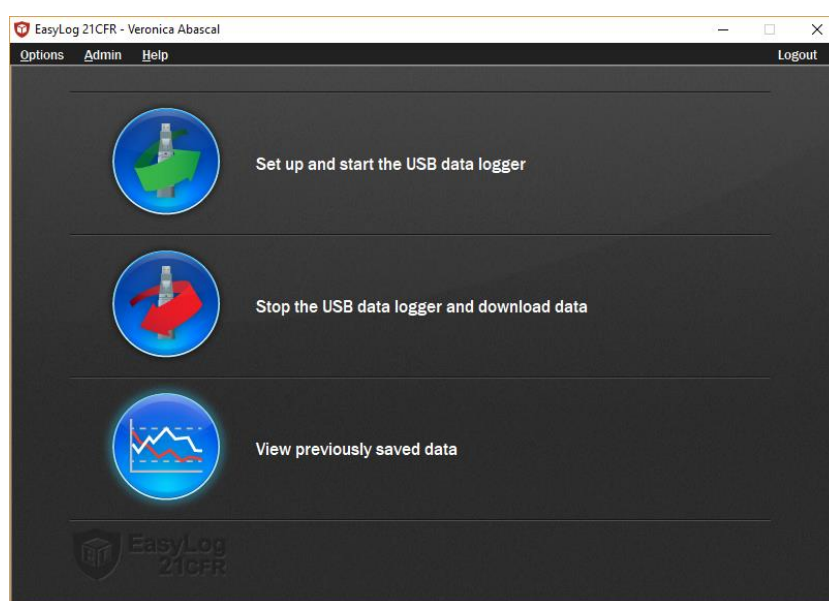


Figura 54. Las tres funciones a realizar en el programa EasyLog 21CFR

Una vez descargado e instalado el software, se crea un usuario de forma que pueda éste acceder a los contenidos del programa de manera particular introduciendo sus datos. Este software permite configurar los registradores, es decir, los dispositivos USB. Permite establecer, instalar e inicializar el sensor estableciendo las siguientes características:

- El nombre del registro que se vaya a realizar
- El parámetro de medida de la temperatura (Si °C o °F)
- El periodo en el que el dispositivo toma la muestra. (Entre 10 segundos y 12 horas)
- Permite configurar unas alarmas, tanto altas como bajas, para la temperatura y la humedad
- El instante en el que se quiere comenzar a tomar el muestreo.

De esta forma el registrador queda programado y empieza a tomar medidas.

Una vez que el sensor haya registrado ya el máximo de lecturas posible o bien cuando el usuario quiera parar el periodo de muestreo, se vuelve a conectar al puerto USB al PC, y se descargan los datos tomados de manera que queden almacenados.

La última opción que permite el software es visualizar los datos salvados previamente. Mediante EasyLog 21CFR software se puede graficar los registros tomados, imprimir o exportarlos a otras aplicaciones donde pueden ser analizados de manera más detallada y cómoda.

El dispositivo EL-21-CFR-2-LCD+ es un registrador de datos autónomo de alta precisión, compatible con el software nombrado anteriormente. Las dimensiones de este dispositivo es de 126 x 25 x 22 mm. Es capaz de tomar 16.382 lecturas en un rango de -35 °C a +80 °C en cuanto a temperaturas y de 0 % a 100 % en cuanto a la humedad relativa. Como se comentó anteriormente, para poder obtener los datos registrados en el sensor, basta con conectar el dispositivo al puerto USB y a través del programa podrán ser visualizados y graficados. En la Figura 55 se puede observar este dispositivo.



Figura 55. Dispositivo EL-21CFR-2-LCD+

Se puede apreciar en la imagen anterior que el sensor dispone de una pantalla LCD de gran contraste. Esta pantalla muestra una variedad de información en cuanto a temperaturas y humedad. Este dispositivo consta también de un botón situado en la parte izquierda de la pantalla. Tocando dicho botón se puede entrar en un bucle en el que se pueden observar, previamente a la conexión de un PC, distintas características. Puede llegar a mostrar seis lecturas grabadas diferentes. En un primer momento se aprecia la temperatura y humedad más reciente registrada. Volviendo a pulsar el botón aparecen los valores máximos y mínimos de temperatura y humedad almacenados en el dispositivo durante el periodo de muestreo.

El dispositivo está protegido para evitar que el agua penetre dentro del sensor.

No es necesario conectar el dispositivo a la corriente. Dispone de una batería de litio de una duración de 2 años aproximadamente. Es necesario remplazar la batería cuando ésta deje de funcionar.

Este sensor también consta de dos característicos verdes/rojos LEDs. Uno de ellos representa la medida de temperatura y el otro la de humedad. Los LEDs se encienden cada 10 segundos, alternando uno u otro. Normalmente el color de la luz es verde, solo aparece el rojo en el caso de que se produzca el aviso de una alarma.

La página Lascar Electronics proporciona la hoja de características del dispositivo, la cual se puede ver en el apartado de Anexos 8.1. En ella se indica la precisión del sensor, así como otra información disponible. Es necesario destacar:

- Tolerancia característica y máxima para el sensor de temperatura en °C.
- Tolerancia característica y máxima a 25 °C para la humedad relativa.
- Precisión característica de las medidas de humedad relativa dada en %RH para temperaturas de 0 a 80 °C.
- Condiciones operativas.

Cuando se producen cambios en las condiciones ambientales del local, el tiempo de respuesta del sensor de humedad es aproximadamente de 20 minutos para alcanzar el 90 % de la lectura. El fabricante recomienda, sin embargo, que cuando se trate de medir los cambios de humedad es necesario mantener el dispositivo en el mismo lugar durante al menos 4 horas [38].

5.2 INERCIA TÉRMICA DE UNA VIVIENDA

La denominada inercia térmica en la que consiste este ensayo experimental es una propiedad que posee ciertos elementos de almacenar calor, conservarlo y liberarlo o distribuirlo de forma gradual. Esto permite al propietario de una vivienda un menor uso de los sistemas de calefacción o incluso de refrigeración, suponiendo un ahorro en el consumo de energía de dichas instalaciones. Esta propiedad permite mantener una temperatura estable y agradable en el interior de la vivienda durante todo el día.

A su vez, la inercia térmica de un elemento depende de una serie de características, las cuales se nombran a continuación: C [J/kg], m [kg], c [J/(kg·K)], densidad [kg/m³], λ [W/(m·°C)].

- Masa térmica, m : capacidad potencial de almacenamiento de calor en un conjunto o sistema. La capacidad calorífica de un cuerpo, C , mide la relación entre calor transmitido al mismo y el cambio de temperatura que sufre. Cuanto mayor sea el valor de capacidad calorífica, más energía es necesario aportar

al cuerpo para que aumente su temperatura. De igual forma, según la Ecuación (47), cuanto mayor es la masa, mayor es la capacidad calorífica del cuerpo, y por tanto mayor inercia térmica experimentará.

$$C = c \cdot m \quad (47)$$

- Calor específico, c : Cantidad de calor que por kilogramo necesita un cuerpo para elevar su temperatura en 1 °C.
- Densidad: Relaciona el volumen del cuerpo objeto con su masa. Cuanto mayor es la densidad del mismo, mayor es la inercia térmica.
- Coeficiente de conductividad térmica, λ : Característica de un elemento que indica la capacidad de conducir el calor. Es la cantidad de energía que atraviesa una superficie de 1 m² y 1 m de espesor cuando las temperaturas a ambos lados difieren 1°C. Cuanto más elevado sea este valor, más rápido se transfiere el calor [30].

La inercia térmica es una propiedad muy importante en el sector de diseño y construcción de edificios. Para zonas climáticas donde las diferencias de temperaturas entre el día y la noche son elevadas es fundamental esta característica para obtener el confort térmico entre los usuarios. Previamente a la construcción de un edificio es necesario el estudio de la zona climática donde se situará para aprovechar la denominada inercia térmica. Además de esto, será necesario un sistema de ventilación apropiado, así como evitar elevaciones de temperatura en zonas de la vivienda donde no se soliciten.

Esta propiedad se puede apreciar por el usuario. Un día de verano, cuando la persona entra en su vivienda, en un portal, en una iglesia, etc... tiene una sensación de frescor debido a los muros, o al recinto que envuelve la masa de aire del local. Se supone que es la respuesta de una vivienda o edificio con gran masa térmica, que es capaz de repartir y distribuir las bajas temperaturas durante la noche y las más altas durante el día. Es decir, como se explicó anteriormente, se promedian las temperaturas a lo

largo del día, ocasionando una temperatura estable y casi uniforme en el interior. La sensación de confort en el interior de la vivienda se debe al equilibrio natural entre las paredes de la envolvente y la temperatura ambiente del aire. Como se ha comentado, esto supone un escaso y uniforme intercambio de energía entre el usuario de la vivienda y la envolvente, proporcionándole una sensación de confort [30].

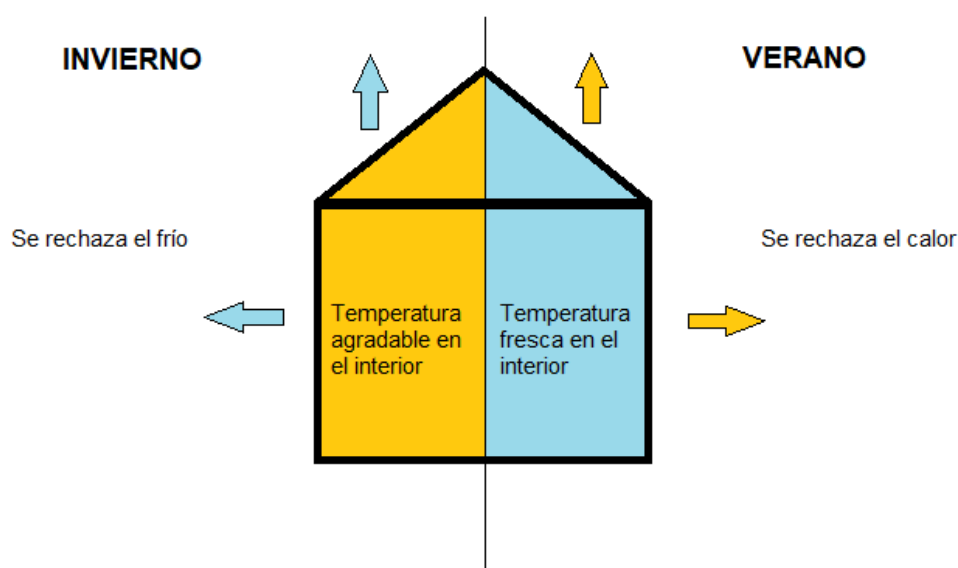


Figura 56. Inercia térmica de una vivienda

Como se aprecia en la Figura 56 la situación que se produce en invierno y en verano es distinta. Durante el verano, si los muros de la casa poseen una elevada inercia térmica, su función es absorber el calor del interior de la vivienda durante el día e ir almacenándolo. A lo largo de la noche se encarga de disipar dicho calor a la estancia. De esta forma, se consigue mantener una temperatura uniforme en el interior de la vivienda sin necesidad de equipo de refrigeración o la limitación del uso del mismo, suponiendo unos ahorros al usuario importantes. En la época de invierno se consigue lo contrario. Si se quiere mantener la temperatura del interior prácticamente constante, a pesar de las pérdidas de calor al exterior debidas a la diferencia de

temperaturas, es necesario aportar energía que compense dichas pérdidas. La fuente auxiliar habitual para aportar esa energía son los sistemas de calefacción [30].

Los muros de vivienda que posean gran espesor y estén contruidos con materiales de alta densidad, disponen de gran inercia térmica. Suponiendo la temperatura exterior como una onda, cuanto mayor es la inercia térmica, mayor es el desfase y más elevado el amortiguamiento de la onda correspondiente a la evolución de la temperatura en el interior de la estancia.

A pesar de que la inercia térmica de la que se componen los edificios, junto con otros aportes o cesiones de energía, puede optimizar el funcionamiento térmico del lugar y suponer importantes ahorros económicos, posee ciertos inconvenientes [30].

- Para el caso de viviendas de uso ocasional, como por ejemplo viviendas de fin de semana, en ambientes fríos fundamentalmente. Si los muros de la vivienda poseen alta inercia térmica, el tiempo necesario para calentar el habitáculo será muy alto. Esto puede provocar que cuando se alcance finalmente la temperatura de confort en el interior de la vivienda, los usuarios tengan que abandonar la estancia ya. La alta inercia solo ha contribuido a un gasto adicional de calentamiento de los muros, pero no ha servido para establecer la temperatura óptima cuando los visitantes se encontraban en ella.
- Para el caso de espacios públicos donde la ocupación es variable a lo largo del día. Cuando el habitáculo se encuentre en baja ocupación, los muros de la estancia con alta inercia térmica deben contribuir al confort. Cuando el índice de ocupación empieza a aumentar, los muros tendrán que encargarse de eliminar los excesos energéticos aportados por las personas. A veces es necesaria la refrigeración incluso en invierno. En verano se produce el efecto contrario, los muros enfrían el local y reduce la necesidad de refrigeración, pero será necesario el confort térmico, ya que una sensación “invernal” no es adecuada.
- Una combinación de un buen aislamiento térmico y la inercia térmica contribuyen a mantener la temperatura constante en el interior de la vivienda

mientras que la temperatura durante la noche no exceda los 25 °C y la vivienda se encuentre cerrada durante el día.

- La construcción en seco permite disponer de estructuras de baja inercia térmica donde las pérdidas debidas al calor son mínimas.

En España, debido a las construcciones de edificios tradicionales, la presencia de puentes térmicos, falta de estanqueidad al aire, etc... es notoria. Si estos edificios disponen de muros con elevada inercia térmica, la masa térmica almacenará energía, pero debido a que son materiales conductores las pérdidas de calor serán importantes. Esto ocasiona unos consumos de energía más elevados. Una solución que se está llevando a cabo en los últimos años es el aislamiento por el exterior y disponer de elementos con inercia térmica en el interior.

5.2.1 Metodología

El experimento que se ha llevado a cabo es el análisis de la inercia térmica de una vivienda. Es decir, someter a la vivienda a una serie de condiciones para obtener la respuesta de la misma. Toda vivienda tiene capacidad de almacenar calor y de disponer de dicho calor guardado en diferentes momentos y situaciones. Para ello se ha analizado el funcionamiento de una vivienda de unas características específicas situada en la Comunidad Autónoma de Cantabria.

El ensayo consiste en medir la capacidad que tiene la vivienda de almacenar calor, es decir, de mantener una determinada temperatura una vez que el foco de calor se desactiva. Para poder obtener las medidas experimentales de temperatura, humedad relativa y el punto de rocío de la estancia se coloca el sensor térmico (EL-21CFR-2-LCD+) en la misma ubicación donde se encuentra el termostato de la vivienda. De este modo se consiguen lecturas de temperatura por dos dispositivos diferentes, pero estando sometidos a las mismas condiciones ambientales y espaciales. Una vez colocado el sensor se dispone a bajar la temperatura del interior de la vivienda hasta un determinado valor. Esto se realiza para poder tener un gradiente de temperatura

mayor, es decir, que exista una mayor diferencia de temperatura entre la mínima y máxima que alcanza la vivienda. De esta forma, la capacidad térmica de la vivienda se podrá observar de manera más clara. La forma de bajar la temperatura puede ser dejar la estancia ventilando durante un tiempo concreto, es decir, dejar el habitáculo abierto permitiendo la circulación del aire en el interior. El experimento se realiza en el mes de abril de 2018 y las condiciones meteorológicas, así como la temperatura externa no fueron demasiado extremas como puede ser en los meses de diciembre-enero, por lo que la temperatura en el interior de la vivienda no fue demasiado fría. Por esta razón se recurre a la ventilación.

Cuando la temperatura en el interior de la casa es lo suficientemente baja, se procede al cierre de las ventanas y se enciende la caldera activando la calefacción. La temperatura de consigna necesita ser modificada, estableciéndose a 25 °C. Este valor de temperatura es excesivo, pero se dispone de esta forma para intentar evitar que la caldera se encienda y apague constantemente. Es función del usuario la detención de la misma. Con este procedimiento la caldera no se desactiva hasta que no llegue a la temperatura establecida. El usuario puede conocer el momento exacto en el que la caldera deja de funcionar y, por tanto, el momento en el que deja de suministrar calor a la estancia.

Se observa a través del termostato cómo la temperatura empieza a aumentar. Cuando el usuario considera que la temperatura que alcanza la vivienda es lo suficientemente alta apaga la caldera, conociendo el momento exacto de la acción. A partir de entonces, se observa el tiempo que la vivienda mantiene dicha temperatura, y como pasado un tiempo comienza a disminuir la temperatura al evacuar calor al exterior y no recibirlo por ningún foco emisor.

A través del sensor y del programa asociado a dicho dispositivo (EasyLog) se presentan las muestras tomadas por el sensor, así como la gráfica respecto al tiempo de la temperatura, la humedad y la temperatura de rocío.

Es necesario mencionar que el usuario, mientras el ensayo tiene lugar, anota las diferentes temperaturas cada cierto tiempo mostradas por el termostato situado en la vivienda.

5.2.2 Vivienda 1

La vivienda objeto de estudio se encuentra situada en la localidad de Solares, municipio de Medio Cudeyo (39710), Cantabria, España, ubicación que se muestra en la Figura 57 Se trata de una vivienda individual dentro de un bloque de pisos. La zona climática a la que corresponde es: C1 (según HE-1) y I (según HE-4), tal y como indica el reglamento [24].

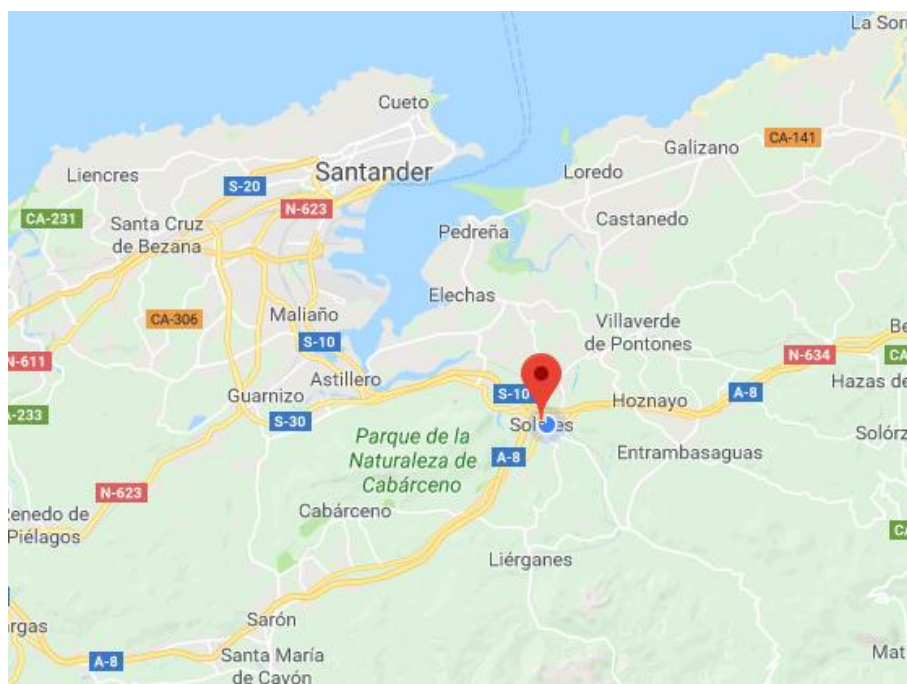


Figura 57. Ubicación de la vivienda seleccionada para la obtención de datos en el ensayo de inercia térmica

La orientación de la estancia en la que se encuentra el termostato y el sensor es Sur. Según el Ministerio de Hacienda y Función Pública del Gobierno de España, en la Dirección General del Catastro, establece el año de construcción de la edificación en 1974. Se debe tener en cuenta, por tanto, que es un inmueble antiguo, cuya normativa en el momento de construcción es muy diferente a la que existe y exigen actualmente. En el momento en el que se produzcan reformas o se establezcan instalaciones nuevas el propietario deberá cumplir y regirse por la nueva legislación. Sin embargo, hay que considerar que los materiales empleados en el año 1974, así como la distribución es muy diferente a la actual. A tratarse de una vivienda antigua tendrá más posibilidades de pérdidas debidas al aislamiento térmico, a la instalación de ACS,

los puentes térmicos, cajas de persianas, ventanas, etc., es decir a causa de la envolvente térmica de la vivienda.

Se realiza el experimento en tres ocasiones con el fin de obtener unos resultados más exactos y poder realizar algún tipo de comparación y conclusión. Al realizarse en días distintos las condiciones térmicas en el exterior no son las mismas todos los días, lo que es un dato que hay que tener en consideración. Es decir, además de que la temperatura de fuera es diferente para los tres días, las condiciones de viento, lluvia y humedad también influyen en el experimento.

Otro dato a tener en cuenta es que las condiciones en el interior también pueden fluctuar de un día para otro. Por ejemplo, la iluminación puede ser diferente ya que un día ha podido estar encendida la luz durante un periodo de tiempo más largo. El número de ocupantes en la estancia donde se dispone el termostato también influye ya que son considerados como cargas térmicas. Si durante la realización del experimento se ha producido movimiento o corrientes de aire debido al tránsito de ocupantes también es importante.

La estancia en la que se sitúa el sensor que mide la temperatura (EL-21CFR-2-LCD+) se trata de la sala de estar o salón. Esta zona de la casa es la que más extensión tiene, es decir, es la que más metros cuadrados posee. El tamaño, volumen o masa térmica a calentar será mayor, por lo que es la zona más costosa de calentar. Además, hay que tener en cuenta que es el espacio en el que la familia de la vivienda pasa más tiempo.

En los tres ensayos el sensor y el termostato se encuentran en el mismo lugar. Como se ha mencionado anteriormente, el sensor utilizado deberá situarse en la misma posición en la que se encuentra el termostato de la vivienda, para así poder comparar de forma más correcta las temperaturas medidas por los dos dispositivos. En la Figura 58 se puede apreciar la situación.



Figura 58. Termostato digital y sensor térmico en la vivienda 1

El tipo de caldera que posee la vivienda es de gas natural. La vivienda consta de una instalación de un circuito de calefacción de diez radiadores y una caldera BAXI ROCA PLATINUM para la mejora térmica en el domicilio. Se trata de un cliente cuya facturación es inferior a 5.000 kWh/año. Se trata de una caldera de gas natural, de uso doméstico con una potencia nominal utilizada para agua caliente sanitaria y calefacción de 24 kW.

La presente instalación está acorde con los reglamentos y disposiciones vigentes que la afectan y, en especial, con el Reglamento de Instalaciones Térmicas en Edificios RITE y sus Instrucciones Técnicas Complementarias ITE, así como con la Orden de 12 de enero de 1998 de la Consejería de Industria de Cantabria en cuanto a evacuación de los productos de la combustión de la caldera.

a) Medida de temperatura tomada el día 4 de abril de 2018

La temperatura media en el exterior de la vivienda durante las horas en las que se realiza el experimento es aproximadamente de 14 °C.

El experimento comienza a realizarse a las 17:34:00 del día 4 de abril. En ese momento como se aprecia en la Figura 58 el termostato de la vivienda marca 19,5 °C. Es a las 17:40:00 cuando se enciende la caldera, y empieza a aportar calor a la vivienda. En la Tabla 18 se muestran las lecturas que marcaba el termostato de la vivienda, observadas por el usuario, así como las que marcaba el sensor para el mismo instante de tiempo.

Tabla 18. Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el primer ensayo

Tiempo	Temperatura en Termostato [°C]	Temperatura en Sensor [°C]
17:40:00	20	20,5
18:00:00	20,5	20
18:15:00	21	20
18:30:00	21,5	20,5
18:50:00	21,5	20,5
19:10:00	22	21
19:32:00	22,5	21,5
19:45:00	23	21,5
20:00:00	LA CALDERA SE APAGA	
20:00:00	23	21,5
20:25:00	22,5	21,5
20:48:00	22	21,5
22:00:00	21	21
07:15:00	20	20
12:26:00	20,5	22

Como se puede observar en la Tabla 18 los dos dispositivos no proporcionan el mismo valor de temperatura para cada instante. Esto es debido a que no todos los dispositivos tienen el mismo nivel de sensibilidad y precisión. En este ensayo los dispositivos varían la temperatura de medio grado en medio grado, sin embargo, se observa que el gradiente de temperatura no es el mismo. Para el termostato el gradiente de temperatura es mucho más grande que para el sensor. Se percibe que la diferencia de temperaturas en el termostato llega a los 3 °C, mientras que en el sensor es inferior, 1,5 °C. Este hecho es necesario tenerlo presente. Independientemente de la vivienda objeto de estudio y bajo las mismas condiciones, un termostato puede medir temperaturas diferentes a otro tipo de termostato. Es función del usuario considerar esta situación para tener claro que tipo de termostato instalar en su local. En las fichas técnicas de los productos en cuestión los fabricantes aportan una característica fundamental, y es el grado de sensibilidad del aparato. Este dato está a disposición del usuario, y está en su mano la decisión de instalar una marca de termostato u optar por otra alternativa.

El inconveniente que se observa en el primer ensayo es que la diferencia de temperaturas no es demasiado grande. Es decir, a través del sensor térmico hubo una variación de temperatura de 1,5 °C, medida limitada a la hora de analizar la inercia de la vivienda, aunque se ha tenido en cuenta.

En la Figura 59 se incorpora los datos medidos por el sensor en el ensayo 1 a través del programa EasyLog, anteriormente explicado. Se muestra tanto la variación de temperatura en grados Celsius durante la experimentación, así como los valores de humedad relativa (%rh) y los de temperatura de rocío en grados Celsius.

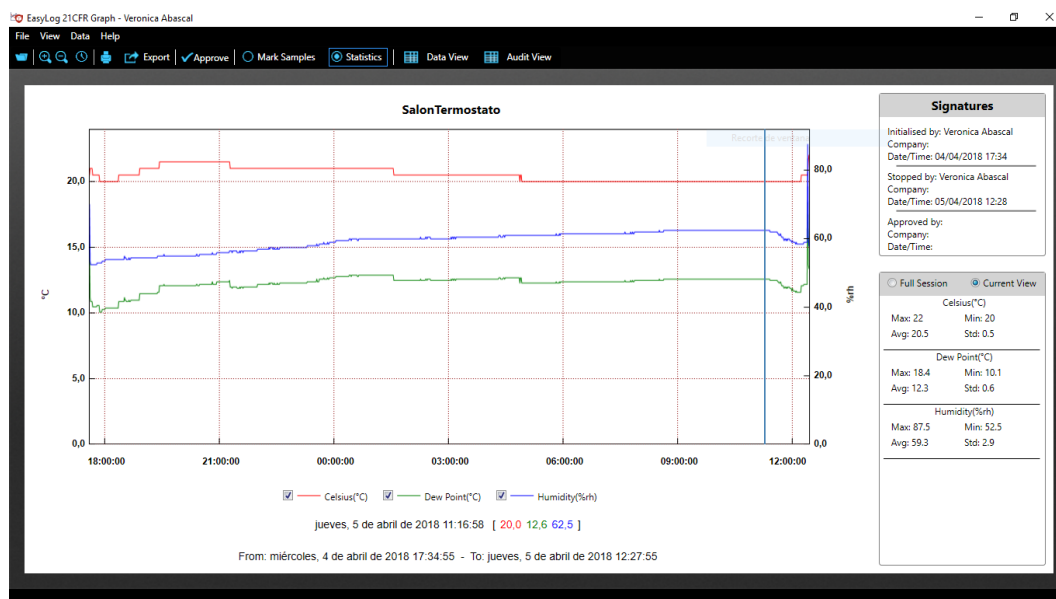


Figura 59. Valores característicos en el interior de la vivienda en el ensayo 1

En la Tabla 19 se recogen los valores límites de las tres características mencionadas anteriormente: temperatura del interior de la estancia, humedad relativa y temperatura de rocío.

Tabla 19. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 1

Características	Valor máx.	Valor mín.	Media
Temperatura (°C)	22	20	20,5
Humedad (%rh)	87,5	52,5	59,3
Temperatura de rocío (°C)	18,4	10,1	12,3

Debido a que en la gráfica mostrada en la Figura 59 no se aprecia con claridad la variación de la temperatura en el interior, se procede a exportar los datos tomados por el sensor a Microsoft Excel y dibujar el gráfico correspondiente a dicha temperatura. En la Figura 60 se observa dicho gráfico.

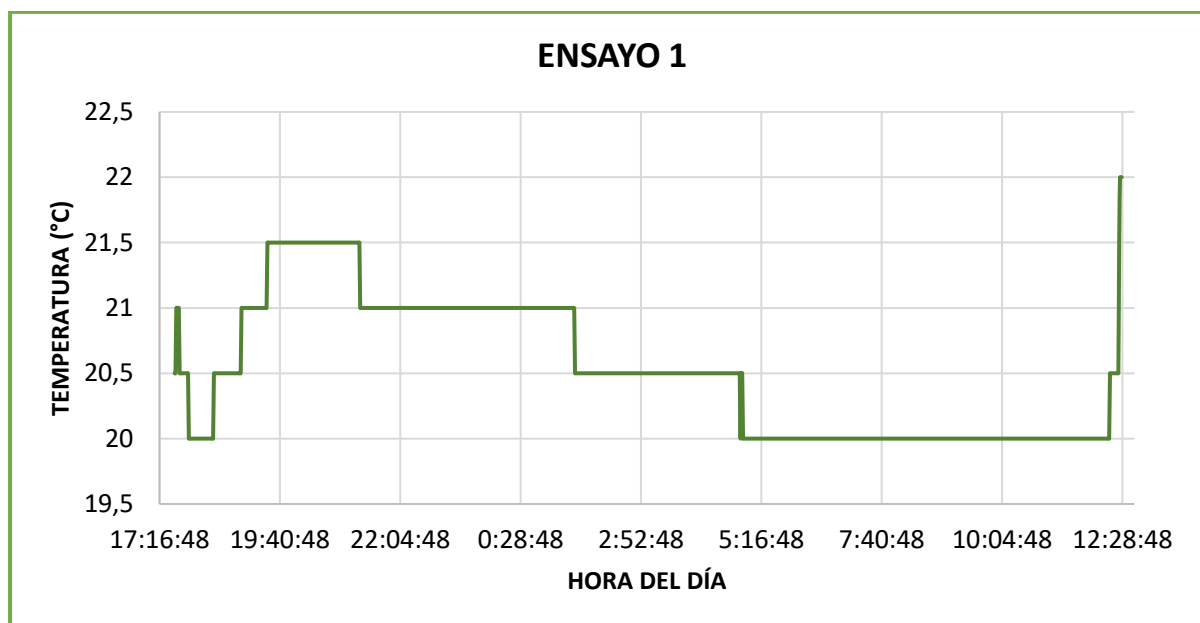


Figura 60. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 1

Obviando la parte final de la gráfica en la que se produce una elevación de la temperatura no correspondiente a dicho experimento, la temperatura fluctúa entre 21,5 °C y 20 °C. El hecho de haber calentado la estancia durante un periodo de tiempo ha supuesto una variación de temperatura de 1,5 °C, un valor reducido. Esto puede deberse a que la vivienda se encontraba a una temperatura elevada en el momento en que comenzó el ensayo. Además, no se realizó ventilación o algún otro tipo de medida para enfriar el habitáculo, como se explicó anteriormente. Es por esto, que en este primer experimento los valores difieren de los otros dos ensayos realizados.

Según el sensor, y a través del programa EasyLog, la vivienda tarda en llegar a la temperatura de 21,5 °C desde las 17:51:25 hasta las 19:25:25, 1 h y 34 minutos. La caldera sigue funcionando hasta las 20:00 que es apagada por el usuario, pero la temperatura en el interior de la vivienda no aumenta pese a esos 35 minutos desde que llegó a los 21,5 °C. Una vez que la caldera ha sido apagada la vivienda mantiene la temperatura anterior desde las 20:00:25 hasta las 21:16:25, es decir, **1 h y 16 minutos**. El tiempo que necesita la vivienda para volver a la temperatura inicial, a la cual empezó el experimento desde que la caldera se apaga, es de 8 h y 54 minutos.

b) Medida de temperatura tomada el día 9 de abril de 2018

La temperatura media en el exterior de la vivienda durante las horas en las que se realiza el experimento es aproximadamente de 13 °C.

El experimento comienza a realizarse a las 12:30:00 del día 9 de abril. En ese momento el termostato de la vivienda marca 18 °C. Es a las 12:30:00 también, cuando se enciende la caldera y ésta empieza a aportar calor a la vivienda. En la Tabla 20 se muestran las lecturas que marcaba el termostato de la vivienda, observadas por el usuario, así como las que marcaba el sensor para el mismo instante de tiempo.

Tabla 20. Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el segundo ensayo

Tiempo	Temperatura en Termostato (°C)	Temperatura en Sensor (°C)
12:30:00	18	20,5
12:50:00	19	19,5
13:10:00	20	19,5
13:45:00	21,5	20
14:15:00	22	20,5
14:40:00	22,5	21
15:15:00	23	21,5
15:44:00	23,5	22
16:10:00	24	22,5
16:10:00 LA CALDERA SE APAGA		
16:26:00	23	22,5
17:13:00	22,5	22
17:43:00	22	22
18:15:00	21,5	21,5
19:30:00	21	21,5

Como se observa en la Tabla 20, los valores correspondientes para el mismo instante de tiempo entre el sensor colocado por el usuario y el termostato de la vivienda son diferentes. La variación de los dos dispositivos es de medio grado en medio grado, pero el alcance entre uno y otro difiere. Mientras que para el termostato instalado en la vivienda la variación de temperatura se corresponde a 6 °C, para el sensor térmico esta variación es de 3 °C. Es decir, el gradiente de temperaturas es el doble para el termostato que el sensor. La vivienda objeto de estudio sigue siendo la misma, las características de la sala donde se disponen estos dos aparatos son las mismas, y el lugar donde se colocan también es el mismo. La diferencia radica en lo sensibles o la precisión que puedan tener los dos dispositivos, dato a tener en cuenta por el usuario que opte por la instalación de un termostato en su vivienda.

A diferencia del primer ensayo, en esta ocasión se opta por ventilar la vivienda previamente a la realización del experimento. Esto se lleva a cabo con el fin de bajar la temperatura de la estancia lo máximo posible, y obtener unos datos experimentales donde se pueda apreciar con mayor claridad la variación de la misma.

En la Figura 61 se incorpora los datos medidos por el sensor en el ensayo 2 a través del programa correspondiente a dicho dispositivo, EasyLog. Se muestra tanto la variación de temperatura en grados Celsius durante la experimentación, así como los valores de humedad relativa (%rh) y los de temperatura de rocío en grados Celsius.

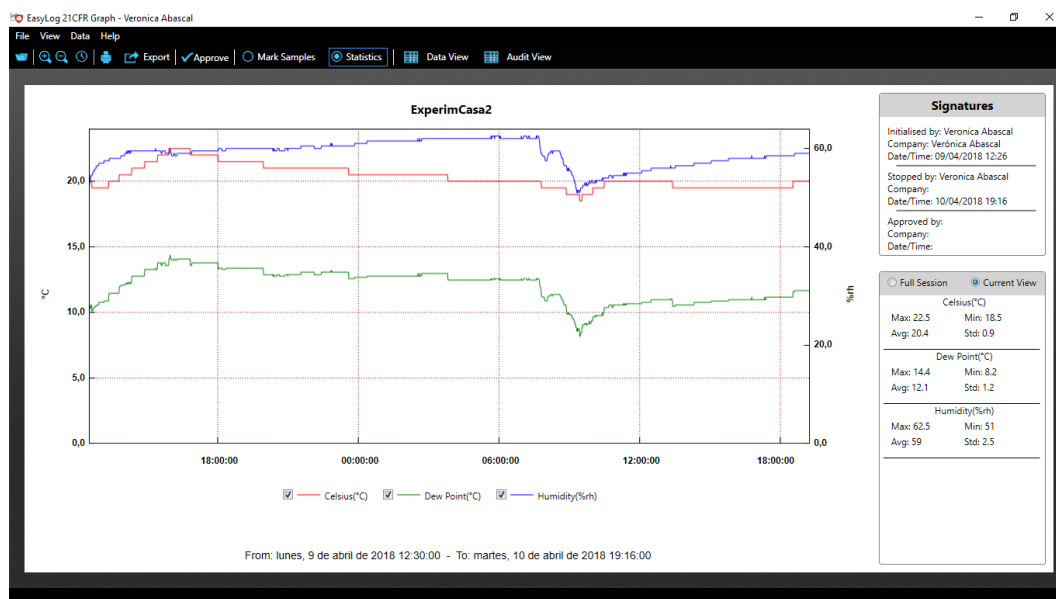


Figura 61. Valores característicos en el interior de la vivienda durante el ensayo 2

En la Tabla 21 se recogen los valores límite de los parámetros característicos medidos por el sensor: Temperatura en el interior de la estancia, humedad relativa y punto de rocío.

Tabla 21. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 2

Características	Valor máx.	Valor mín.	Media
<i>Temperatura (°C)</i>	22,5	18,5	20,4
<i>Humedad (%rh)</i>	62,5	51	59
<i>Temperatura de rocío (°C)</i>	14,4	8,2	12,1

Como se hizo en el ensayo anterior, se procede a exportar las muestras tomadas por el sensor a Microsoft Excel para visualizar la Figura 61 con claridad. A continuación, en la Figura 62 se aprecia el gráfico realizado con las diferentes temperaturas.

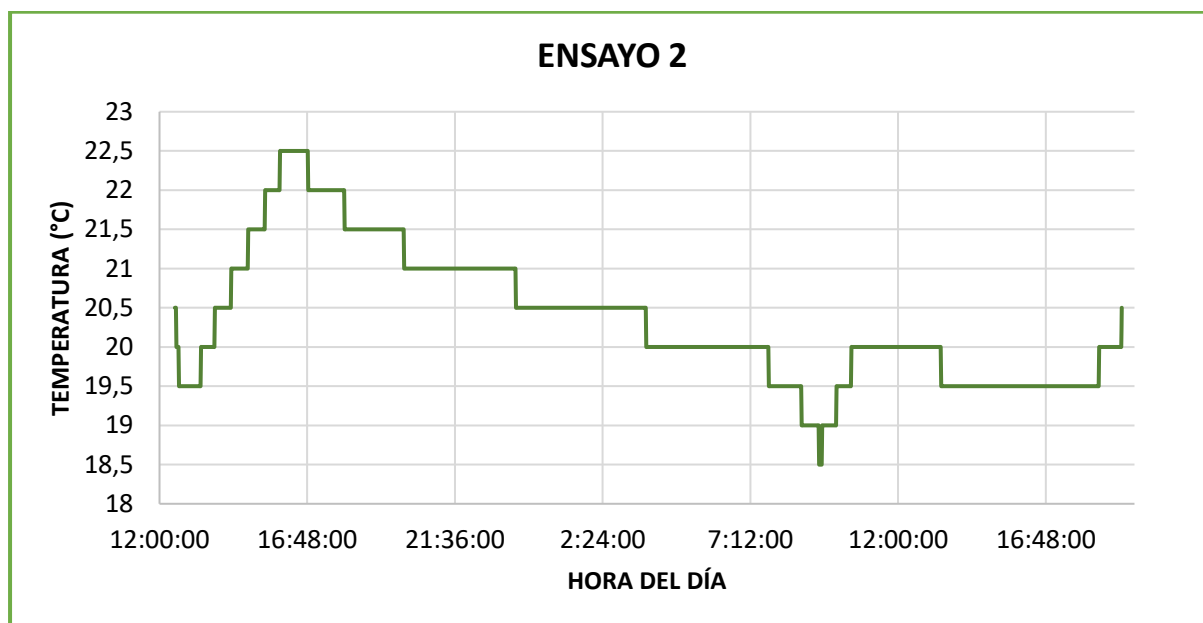


Figura 62. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 2

Se prescinde de la parte final de la gráfica en la que se produce de nuevo una elevación de la temperatura no correspondiente a este experimento. Es decir, a partir de las 11:00 del día siguiente, martes 10 de abril de 2018, no se analiza.

La temperatura fluctúa entre 22,5 °C y 18,5 °C, es decir, existen 4 °C de diferencia. El hecho de haber calentado la estancia durante un periodo de tiempo, inicialmente desde los 19 °C hasta los 22,5 °C, ha supuesto una variación de temperatura de 3,5 °C. Este es un valor considerable y dispar si lo comparamos con el 1,5 °C del primer ensayo. Esto puede deberse a que la vivienda se encontraba a una temperatura inferior a la del ensayo 1, como consecuencia de ventilar la estancia previamente. Este experimento se realizó de manera muy similar al 3, por lo que los resultados obtenidos son muy parecidos.

Según el sensor, y a través del programa EasyLog, la vivienda tarda en llegar a la temperatura de 22,5 °C desde las 12:37:30 hasta las 15:54:30, 3 h y 17 minutos. Debido a que el gradiente de temperaturas es mayor en este caso que en el primero, el tiempo que necesita la vivienda para llegar a la temperatura indicada es mayor, corolario, la caldera tendrá que funcionar más tiempo en este ensayo número 2. La caldera sigue funcionando hasta las 16:10:30 que es apagada por el usuario, pero la temperatura en el interior de la vivienda no aumenta pese a esos 16 minutos desde que llegó a los 22,5 °C. Una vez que la caldera ha sido apagada la vivienda mantiene la temperatura anterior desde las 16:10:30 hasta las 16:49:30, es decir, **39 minutos**. El tiempo que necesita la vivienda para volver a la temperatura inicial, a la cual empezó el experimento desde que la caldera se apaga, es de 15 h y 37 minutos. Este elevado valor del tiempo puede deberse a que la temperatura en el exterior no fuera extremadamente fría, sino más bien agradable. Por eso la vivienda tarda más tiempo en enfriarse que en el experimento 1. Otro factor a considerar es que, en este ensayo, las temperaturas que se alcanzan son más elevadas que en el primer caso, y por tanto llevará más tiempo deshacerse del calor y alcanzar la temperatura inicial.

c) Medida de temperatura tomada el día 11 de abril de 2018

La temperatura media en el exterior de la vivienda durante las horas en las que se realiza el experimento es aproximadamente de 11 °C.

El experimento comienza a realizarse a las 13:15:00 del día 11 de abril. En ese instante se coloca el sensor térmico, que comienza a tomar datos de la temperatura de la vivienda. Es a las 13:20:00, cuando el termostato de la vivienda marca 18 °C. A continuación, se procede a encender la caldera que empieza a aportar calor a la vivienda. En la Tabla 22 se muestran las lecturas que marcaba el termostato de la vivienda, observadas por el usuario, así como las que marcaba el sensor para el mismo instante de tiempo.

Tabla 22. Lecturas de temperaturas de los aparatos de medida de la vivienda 1 en el tercer ensayo

Tiempo	Temperatura en Termostato (°C)	Temperatura en Sensor (°C)
13:20:00	18	18
13:50:00	19	18,5
14:30:00	20,5	19,5
15:00:00	21	20
15:20:00	21,5	20,5
15:57:00	21,5	20,5
16:12:00	22	21
16:30:00	22,5	21,5
16:46:00	23	21,5
17:30:00	23,5	22
18:05:00	23,5	22,5
18:35:00	24	23
18:35:00	LA CALDERA SE APAGA	
19:07:00	23	23
20:15:00	22	22

Como se puede observar en la Tabla 22 los dos dispositivos no proporcionan el mismo valor de temperatura para cada instante, lo mismo que ocurría en el ensayo 1 y en el ensayo 2. Como se explica anteriormente, no todos los dispositivos térmicos tienen el mismo grado de sensibilidad y precisión, lo que provoca diferencias en las medidas de temperatura. Pese a que la temperatura de los dos aparatos varía cada medio grado, el termostato de la vivienda muestra un gradiente de temperatura de 6 °C, mientras que el sensor térmico marca una diferencia de 5 °C. En este ensayo se observa que la diferencia de temperaturas medidas por ambos dispositivos no es tan dispar como en los casos anteriores, que suponía el doble entre uno y otro. La vivienda sigue siendo la misma, la sala donde se realiza el experimento es la misma y el lugar donde se disponen los dos dispositivos es el mismo. En este caso, la diferencia entre los dos dispositivos no es tan evidente y esto es debido a diversos factores. Los termostatos o el sensor muestrean los datos y se fijan en diferentes parámetros. Puede ser que en este caso dichos parámetros sean muy parecidos entre uno y otro, obteniendo estos resultados. Independientemente de la vivienda objeto de estudio, la instalación de un tipo de termostato u otro es función del usuario, quien tendrá que evaluar las características de los mismos.

De la misma forma que en el ensayo 2, pero a diferencia del ensayo 1, en este caso se procede al enfriamiento previo de la estancia donde se realiza el experimento. Se abrieron las ventanas y se dejó circular el aire por el interior. De esta forma, la variación entre la temperatura máxima y la temperatura mínima alcanzada por la vivienda se hace más notoria.

En la Figura 63 se incorpora los datos medidos por el sensor en el ensayo 3 a través del programa EasyLog. Se muestra tanto la variación de temperatura en grados Celsius durante la experimentación, así como los valores de humedad relativa (%rh) y los de temperatura de rocío en grados Celsius.



Figura 63. Valores característicos en el interior de la vivienda en el ensayo 3

En la Tabla 23 se recogen los valores límite de los parámetros característicos medidos por el sensor: Temperatura en el interior de la estancia, humedad relativa y punto de rocío.

Tabla 23. Características de la vivienda a través del sensor en el ensayo 3

Características	Valor máx.	Valor mín.	Media
Temperatura (°C)	23	18	20,3
Humedad (%rh)	64,5	54,5	61,7
Temperatura de rocío (°C)	14,3	8,7	12,6

Procediendo de igual forma que en los ensayos anteriores, se exportan los datos muestreados por el sensor desde el programa EasyLog hasta Microsoft Excel, y se realiza un gráfico de la variación de la temperatura con respecto al tiempo. Esto se realiza para que se aprecie de forma más clara la fluctuación. En la Figura 64 se expone dicho gráfico.

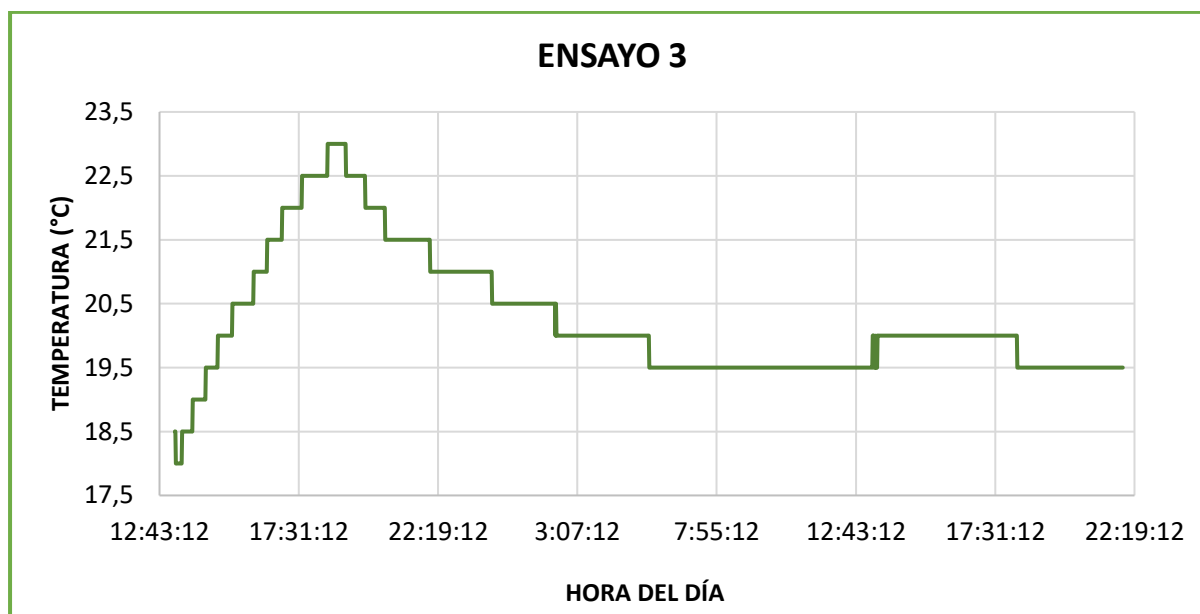


Figura 64. Variación de la temperatura en el interior de la vivienda durante la experimentación 3

De igual forma que anteriormente, se omite la parte final del gráfico ya que no corresponde con el experimento. Es únicamente necesario los datos hasta la mañana del día siguiente, día 12 de abril de 2018.

La temperatura fluctúa entre 23 °C y 18 °C. El hecho de haber calentado la estancia durante un periodo de tiempo ha supuesto una variación de temperatura de 5 °C. Este es un valor considerable y elevado, si lo comparamos con el 1,5 °C del primer ensayo. Variar la temperatura de una vivienda 5 °C con el aporte de calor que proporciona la caldera es importante. Es por esta razón, como se observa en la Figura 64, que la casa no mantiene durante mucho tiempo la temperatura de 23 °C. Además, como en el experimento 2, la vivienda se encuentra a una temperatura inferior a la del primer ensayo, a causa de la ventilación previa. Este experimento se realiza de manera muy similar al 2, por lo que los resultados obtenidos son muy parecidos.

Según el sensor, y observado en el programa EasyLog, la vivienda tarda en llegar a la temperatura de 23 °C desde las 13:16:30 hasta las 18:30:30, 5 h y 14 minutos. Debido a que el gradiente de temperaturas es mayor en este caso que en el primero y el segundo, el tiempo que necesita la vivienda para llegar a la temperatura indicada es mayor, corolario, la caldera tendrá que funcionar más tiempo en este ensayo número 3. La caldera sigue funcionando hasta las 18:35:30 que es apagada por el

usuario. La temperatura en el interior de la vivienda no aumenta en esos 5 minutos de diferencia. Una vez que la caldera ha sido apagada la vivienda mantiene la temperatura anterior desde las 18:35:30 hasta las 19:08:30, es decir, **33 minutos**. La vivienda no alcanza la temperatura a la cual se inició el experimento, sino que lo máximo que enfría es hasta los 19,5 °C. El tiempo que necesita la vivienda para volver a dicha temperatura desde que es apagada la caldera es de 11 h. Como en el caso 2, este elevado valor de tiempo puede ser debido a que las condiciones exteriores no son extremadamente frías, y a que las temperaturas alcanzadas por la vivienda son bastante elevadas con respecto al primer caso.

5.3 EVALUACIÓN DE TERMOSTATOS INTELIGENTES

Este ensayo ha sido comentado anteriormente en el apartado 2.6.5, donde se explica el termostato inteligente objeto de estudio, Toon. Se ha realizado este estudio en el ámbito de colaboración entre Viesgo y el grupo GTEA-UC, grupo de investigación en el que se realiza este proyecto. En este experimento se evalúan distintos tipos de termostatos de los que se pretende obtener conclusiones sobre cuáles tienen mayores ventajas en algunos aspectos o desventajas en otros. Las características de los mismos son muy diferentes en cuanto a precisión, precios, temperaturas de consigna, algoritmos, comportamientos, etc.

Se pretende llevar el ensayo a unas condiciones lo más reales posible con el fin de evaluar los termostatos de una forma adecuada. Es por ello que desde la Universidad de Cantabria se diseñó una cámara de ensayos térmica empleando una nevera en la que se introdujo una manta térmica con distintos componentes electrónicos [23]. Dentro de la cámara se encuentran los diferentes termostatos inteligentes, objetos de estudio. Se genera un sistema similar al de una vivienda en el que se pueden modificar las características para valorar los distintos resultados, por ejemplo, la inercia térmica. El experimento consiste en diversas simulaciones para obtener el comportamiento de cada uno de los termostatos, analizar sus funcionalidades, su aprendizaje y su eficiencia.

Es necesario distinguir que en cuanto al aprendizaje de los termostatos deberán ejecutarse durante un periodo de tiempo lo suficientemente largo como para conocer las características de la vivienda, memorizarlas y generar un algoritmo que permita mejorarlas. Por ejemplo, regular la temperatura de forma más eficaz.

En la Figura 65 se pueden apreciar los componentes que se emplearon para realizar el ensayo, instalados en el interior de una caja de fusibles. En la Figura 66 se aprecian los instalados en la ventana de la caja.

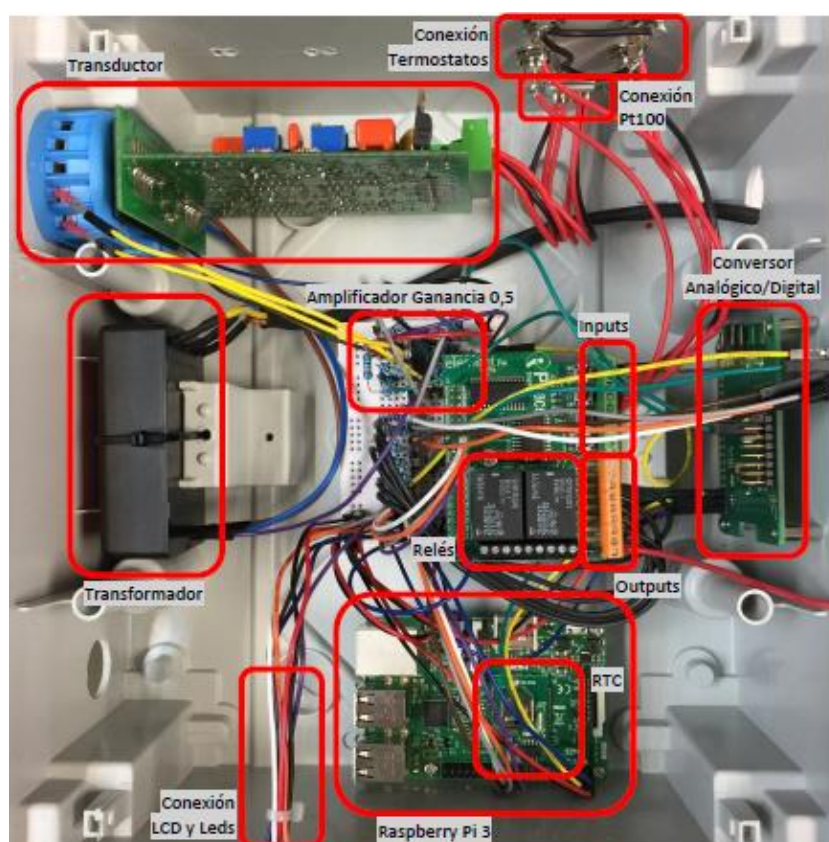


Figura 65. Componentes en el interior de la caja [23]



Figura 66. Componentes en la ventana de la caja [23]

Además de la nevera con sistema de refrigeración termoeléctrica de 70 W que permite reducir la temperatura del modelo térmico de una vivienda y la manta térmica de 15 W que realiza lo contrario, elevar la temperatura hasta un valor deseado, existen diferentes componentes. Se dispone de relés, inputs, outputs, pantalla LCD, reloj, un transductor Sondas Pt100, transformador, conversor analógico/digital, sondas Pt100, amplificador y distintas conexiones entre los termostatos y Pt100. Uno de los elementos más importantes es la Raspberry Pi 3 Model B [23].

Las sondas Pt100 son un tipo de sensores de detector de temperatura por resistencia (RTD). Una de las características principales de los mismos es que están fabricados con platino y con una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de 0 °C. Cuando aumenta la temperatura, aumenta su resistencia eléctrica. Normalmente están montados en algún tipo de funda protectora para formar una sonda de temperaturas más fuerte y robusta. La norma internacional IEC 751 especifica las tolerancias de los sensores RTD. Para las sondas Pt100 existen dos tipos de tolerancias. Para sondas de clase A una tolerancia de $\pm 0,15$ °C a 0 °C y para clase B una tolerancia de $\pm 0,3$ °C a 0 °C. Existen de igual forma dos clases de precisión conocidas como “1/10 DIN” y “1/3 DIN”. Significan una tolerancia de 1/10 y 1/3 respectivamente para clase B a 0 °C.

En Figura 67 se puede observar un tipo de sonda Pt100. En la documentación de anexos se especifican los valores de tolerancias de este tipo de sondas, así como las temperaturas correspondientes para las diferentes resistencias, en el apartado 8.2.



Figura 67. Sonda Pt100

Como se comentó con anterioridad el elemento principal del conjunto es la Raspberry Pi 3 que se encarga de recoger toda la información de la cámara y almacenarla. Es decir, el funcionamiento de la cámara se gestiona a través de dicho dispositivo. Se trata de una computadora completa en un solo circuito. Tiene todas las características de un computador funcional en una sola tarjeta de tamaño reducido y todo lo necesario se encuentra en su placa base [23]. En la Figura 68 se puede apreciar este dispositivo tan práctico.

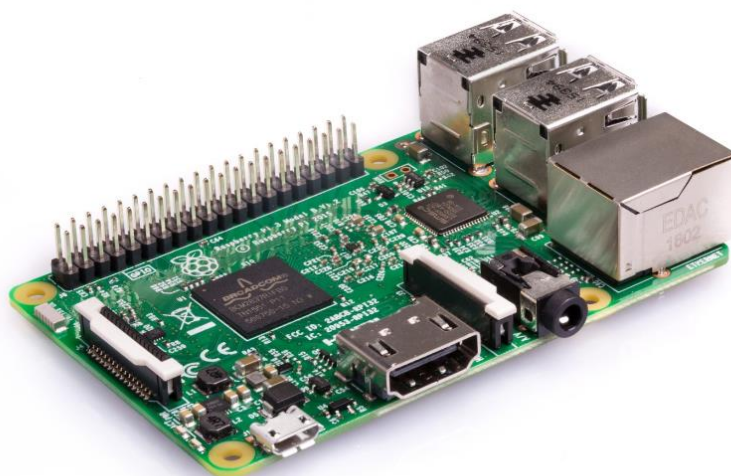


Figura 68. Dispositivo Raspberry Pi 3 Model B [39]

La Raspberry Pi 3 posee una red de área local inalámbrica y conectividad Bluetooth. Para empezar a manejar esta pequeña computadora es necesario una tarjeta Micro SD con NOOBS y un puerto USB que soporte 2,1 A. Si se quiere usar como ordenador de sobremesa será necesario un monitor con un cable HDMI, un teclado y un ratón [39]. El resto de características de este dispositivo vienen especificadas en el apartado de anexos en 8.3.

El funcionamiento de este experimento se puede dividir en 3 apartados [23] diferenciados como se representa en la Figura 69 . El primero consiste en medir la temperatura en el interior de la cámara a través de las sondas explicadas anteriormente y los termostatos objetos de estudio. El segundo, a través de las diversas conexiones, es el encargado de calentar o enfriar la estancia controlando los sistemas de calefacción o refrigeración, encendiendo o apagando los mismos según interese al investigador. El tercer apartado recoge todos los datos obtenidos durante los ensayos en los apartados anteriores. Todo este funcionamiento tiene como elemento principal la Raspberry Pi 3 Model B que se encarga también de mostrar los valores de temperaturas al usuario a través de la pantalla LCD.

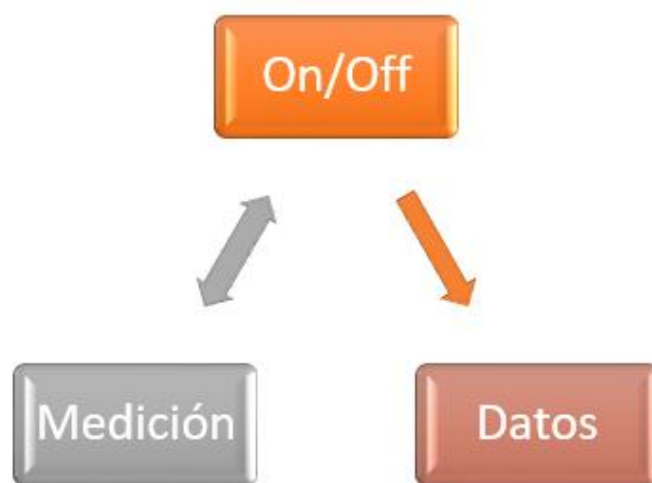


Figura 69. Funcionamiento de la cámara de ensayos térmicos

Para el análisis y el estudio de los diferentes termostatos se realizan dos tipos de ensayo: Comportamiento de los termostatos para mantener la temperatura de consigna y comportamiento de los termostatos durante un día completo de funcionamiento.

Es necesario mencionar que los datos obtenidos y registrados durante este ensayo se han producido en una cámara de ensayos térmico que, aunque se haya aproximado a unas condiciones lo más reales posibles, sigue siendo un laboratorio. Es por ello que las conclusiones a las que se pueden llegar son limitadas.

5.3.1 Comportamiento de los termostatos para mantener la temperatura de consigna

La temperatura de consigna, como bien se definió al principio de este proyecto es el límite de la temperatura interior requerida por el usuario. Es decir, es la temperatura límite a la que se desea la vivienda. Existen diferentes temperaturas de consigna dependiendo del momento del día en el que se esté. Normalmente las temperaturas de consigna vienen recomendadas por los fabricantes de termostatos.

- 19°C. Periodo del día en el que hay personas en la vivienda
- 17°C. Periodo durante la noche
- 16°C. Periodo del día en el que la vivienda está vacía

En este experimento se va a estudiar el comportamiento que presentan los diferentes termostatos cuando presentan una temperatura fija durante un periodo de tiempo determinado. Como el comportamiento de los mismos es muy parecido para los tres casos de temperatura de consigna, se estudia sólo uno, cuando la temperatura establecida es de 19°C [23]. En el artículo se especifica la evolución, el comportamiento y los tipos de algoritmo que presenta cada uno de los termostatos frente a la misma situación planteada. En el apartado correspondiente al termostato

inteligente objeto de estudio de este proyecto se describe su comportamiento frente a este ensayo. 2.6.5.

En el ensayo se observan las temperaturas máximas y mínimas que han alcanzado los sensores de cada termostato al mantener la temperatura de consigna. Se muestran también las temperaturas máximas y mínimas registradas por las sondas Pt100 en igualdad de condiciones. Con los datos obtenidos en el ensayo se hace ver la diferencia de temperatura existente entre la que mide cada termostato y la que en realidad hay. No todos los termostatos registran la misma temperatura para las mismas condiciones impuestas. También se observa la diferencia entre la temperatura real que se llega a conseguir con respecto a la de consigna.

En el caso del termostato Toon los resultados obtenidos se observan en la Tabla 6 los cuáles reflejan que las temperaturas del sensor se aproximan a la realidad.

De esta forma, con este ensayo, se consigue clarificar cuál de todos los termostatos es el más preciso en cuanto a medir la temperatura real de la vivienda.

Además de esto, otro dato que se hace evidente a través del ensayo es cuál de todos los termostatos consigue ajustarse mejor a la temperatura de consigna establecida.

5.3.2 Comportamiento de los termostatos durante un día de funcionamiento

En este segundo ensayo se va a estudiar el comportamiento de los termostatos a lo largo de un día entero de funcionamiento. Para poder realizarlo, la cámara térmica seguirá las temperaturas de consigna marcadas por los termostatos, apagándose o encendiéndose cuando éstos se lo indiquen [23].

Las diferentes temperaturas de consigna utilizadas, son las que se especificaron en el apartado anterior: 19°C, 17°C y 16°C. Los periodos del día en los que se quiere cada una de las temperaturas mencionadas se pueden observar en la Figura 33. Los periodos del día en los que haya gente en la vivienda se deseará una temperatura más cálida, que en los periodos del día en los que no haya nadie en la estancia.

A partir de este ensayo se observarán las temperaturas máximas y mínimas que se producen en cada periodo establecido a lo largo de todo el día, haciendo un pequeño análisis del confort en la vivienda. También se puede observar el tiempo en el que la calefacción ha estado encendida. Es decir, cada termostato mantendrá la calefacción encendida durante un periodo diferente. Para poder analizar esta última característica se tiene que disponer de los datos proporcionados por la Raspberry Pi o datos extraídos de las propias gráficas del portal de ciertos termostatos. También se emplearán las gráficas y resultados del ensayo anterior, 5.3.1.

A través de las gráficas creadas para cada termostato estudiado analizando los aspectos anteriormente mencionados, se pueden sacar determinadas conclusiones. Un aspecto que se ha tenido en cuenta son los tiempos de activación. No son más que el encendido del sistema de calefacción se anticipa un cierto tiempo a los horarios marcados expuestos en Figura 33, con el fin de que a la hora marcada, la temperatura sea lo más próxima a la deseada.

Analizado el ensayo se exponen las temperaturas máximas y mínimas alcanzadas para cada temperatura de consigna y se realiza una comparativa entre los distintos termostatos. De esta forma se puede indicar el termostato que menos se desvía de la temperatura establecida. También se indica los tiempos de encendido parcial y total del sistema de calefacción. Es posible comparar entre los diferentes dispositivos, estableciendo cuál de ellos ha mantenido el sistema de calefacción encendido menos tiempo.

Otro aspecto destacable en el artículo [23] son los porcentajes de tiempo en los que la temperatura ha sido superior o inferior a la de consigna. Se estima también el porcentaje de tiempo en el que la temperatura ha sido mayor de un grado tanto por encima como por debajo de la de consigna.

Comparando resultados se puede establecer el termostato que menor desviación ha presentado. Una de las conclusiones que se destaca de este documento es que se puede establecer el tiempo total en el que cada uno de los termostatos ha permitido estar a la vivienda a una temperatura de confort para el usuario. Es decir, unos rangos de valores en los cuales la desviación de la temperatura con respecto a la de consigna no ha sido grande.

En el caso del termostato Toon, en la Tabla 7 aparecen las temperaturas máximas y mínimas registradas por el termostato para las diferentes temperaturas de consigna. En la Tabla 8 vienen representados los tiempos en los que el sistema de calefacción ha estado encendido. Es el termostato que menor tiempo ha registrado.

5.4 AHORRO DOMÉSTICO CON TOON

Este tipo de ensayo se trata de una continuación de los ensayos anteriormente explicados. El objetivo de estos ensayos, de la misma forma que parte de este proyecto, es poder proporcionar unas conclusiones en las que se estime el ahorro conseguido por el termostato inteligente Toon, o al menos, aportar ciertas indicaciones a los usuarios que se decidan a instalar este dispositivo. El ensayo anterior consistió en el desarrollo de una cámara térmica de forma que pudiese simular de manera sencilla el comportamiento de una vivienda. Pero el inconveniente que se describió es que hay que tener en cuenta que se limita a simulaciones en un laboratorio. Para poder sacar unas conclusiones más fiables y acordes con la realidad, es necesario llevar todo lo planteado a una vivienda real. De esta forma, los datos que se obtengan serán característicos de una vivienda real y se adquirirá experiencia por parte del usuario.

Se pretende especificar en este apartado el tipo de medidas registradas en la vivienda, las fuentes de información que se han necesitado, y algunos resultados preliminares a los que se ha llegado.

5.4.1 Localización

Se ha utilizado la misma vivienda, tanto para este ensayo, como para el ensayo característico de determinación de los parámetros específicos de R_{th} y C_{th} utilizando el registro de temperaturas del apartado 4.2. Es decir, ésta es la vivienda que se va a emplear para analizar resultados, realizar el modelo y determinar unas conclusiones.

En esta vivienda se encuentra instalado el termostato inteligente objeto de estudio, Toon, y es, por tanto, en la que se van a realizar los ensayos pertinentes y analizar todos los resultados para determinar unas conclusiones en este proyecto.

La vivienda objeto de estudio que se ha utilizado se encuentra en una calle céntrica de la ciudad de Santander, Cantabria, España. En la Figura 70 se muestra la ubicación de la misma.



Figura 70. Ubicación de la vivienda seleccionada para la obtención de datos para el modelo

El objetivo de este proyecto es la modelización de una vivienda a través de un programa. Por lo tanto, será imprescindible monitorizar los datos obtenidos y medidos en esta vivienda objeto. La temperatura interna de la vivienda y la temperatura exterior son este tipo de datos. Conociéndose se pueden relacionar con el encendido/apagado de la caldera, y por ende con los consumos de gas.

5.4.2 Datos registrados

Como se ha indicado la lectura del contador del gas es un aspecto muy importante para poder determinar los consumos. Un contador es un sistema analógico y manual

que no guarda un registro continuado, pero a través de un sistema que se expondrá en líneas posteriores, se ha podido registrar estos datos.

Por tanto, el registro de datos obtenidos se puede observar en la Figura 44. Los datos conocidos se corresponden con la temperatura interior de la vivienda, la temperatura exterior, y la lectura del contador de gas que se puede relacionar con el encendido/apagado de la caldera.

Como ocurre con el primer ensayo experimental explicado en el apartado 5, el registro de las temperaturas interior y exterior a la vivienda se realiza mediante el empleo del programa EasyLog, con el dispositivo EL-21-CFR-2-LCD+ mostrado en la Figura 55. Se emplean dos registradores: uno situado en el mismo punto de ubicación donde se encuentra el termostato inteligente, y el otro en el exterior de la vivienda. A través de los mismos se consiguen datos de temperatura, humedad relativa y temperatura de rocío. Las muestras se toman durante varios días, y se configuran los dispositivos para que tomen datos cada minuto. A través del software EasyLog explicado con anterioridad, se puede trabajar con las muestras de datos obtenidas, observar gráficas, etc. Simplemente basta con conectar el puerto USB del registrador EL-21-CFR-2-LCD+ en el PC y tener el software correspondiente. De esta forma, la temperatura interior y la temperatura exterior de la vivienda quedan registradas.

Para poder tomar lectura del contador de gas la única manera es de forma visual. Se ha diseñado un dispositivo para poder obtener esos registros. Se compone de:

- Raspberry Pi 3 Model B como la mostrada en la Figura 68 con Raspbian instalado. Raspbian es el sistema operativo recomendado para esta computadora.
- Raspberry Pi Camera Module
- PiFace Digital 2: es una placa complementaria para Raspberry Pi que permite la conexión con distintos dispositivos. Incluye componentes como relés, interruptores, entradas/salidas digitales y analógicas que permiten conectarse con sensores, motores, luces, etc. y que pueden ser controlados mediante la placa Raspberry Pi.
- Bombilla para iluminar el contador por la noche. De esta forma se puede observar la numeración en periodos de poca iluminación.

En la Figura 71 se puede observar alguno de los componentes que se emplearon para la lectura del contador de gas. En la parte inferior derecha se observa Raspberry Pi Camera Module, la pequeña cámara para hacer fotografías de la numeración del contador. En la parte superior izquierda se observa la placa complementaria para Raspberry Pi que permite las distintas conexiones.



Figura 71. Visualización de algunos componentes para el registro de lectura del contador

El conjunto del dispositivo diseñado se muestra en la Figura 72 donde se puede observar la ubicación de los tres componentes más importantes: cámara, bombilla y PiFace Digital 2.

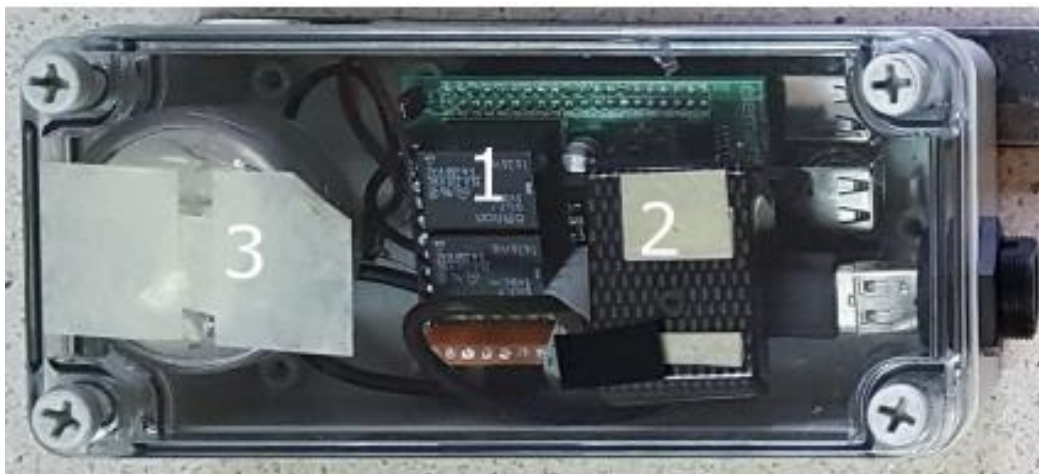


Figura 72. Raspberry Pi con PiFace Digital 2(1). Cámara (2). Bombilla (3)

El funcionamiento empleado en el proceso de registrar la lectura del contador es el siguiente. Se configura todo el conjunto a través de un código Python. Éste permite encender la bombilla a través de los distintos relés dependiendo de la hora del día en la que se encuentre. La bombilla tendrá la orden de encenderse desde las 18 h hasta las 9 h. A continuación, se realiza una foto de la numeración del contador y que se guarda en la memoria de la Raspberry Pi junto con la hora y fecha del sistema. El código se configuró para hacer una foto cada 10 minutos.

Las fotos realizadas por el dispositivo diseñado se pueden extraer con facilidad si antes de instalar el dispositivo se ha conectado la Raspberry Pi a la red wifi doméstica. La transferencia a un PC conectado a esa misma red se realiza mediante un software de transferencia como WinSCP.

En la Figura 73 se muestra la colocación final del dispositivo junto con el contador del que se obtienen las lecturas.



Figura 73. Colocación final del conjunto para la lectura del contador de gas

5.4.3 Análisis técnico

Una vez instalados todos los dispositivos anteriormente explicados, se dispone a la recogida y el análisis de los datos registrados. La vivienda en cuestión tiene instalado en su interior el termostato inteligente Toon. El registro de datos se corresponde a los días entre el 29 de abril de 2018 y el 2 de mayo de 2018, ambos incluidos. Hay que mencionar que en estos periodos del año el uso de la calefacción es limitado. Se exportan los datos tomados a una hoja Excel y se procede a graficar las distintas características con el fin de obtener unos determinados conceptos. Los datos que se poseen son las temperaturas en el interior y exterior de la vivienda y los consumos de gas de cada uno de los días. Para las gráficas que se muestran a continuación se han considerado momentos del día en los que el sistema de calefacción se ha encontrado en funcionamiento. Se especifica para cada gráfica cuatro aspectos importantes: incremento de temperatura conseguido por el termostato, incremento del consumo de gas en el periodo de funcionamiento, tiempo empleado en alcanzar la temperatura final y la temperatura media del exterior de la vivienda.

En la Figura 74 se representa los registros de características del 29 de abril de 2018.

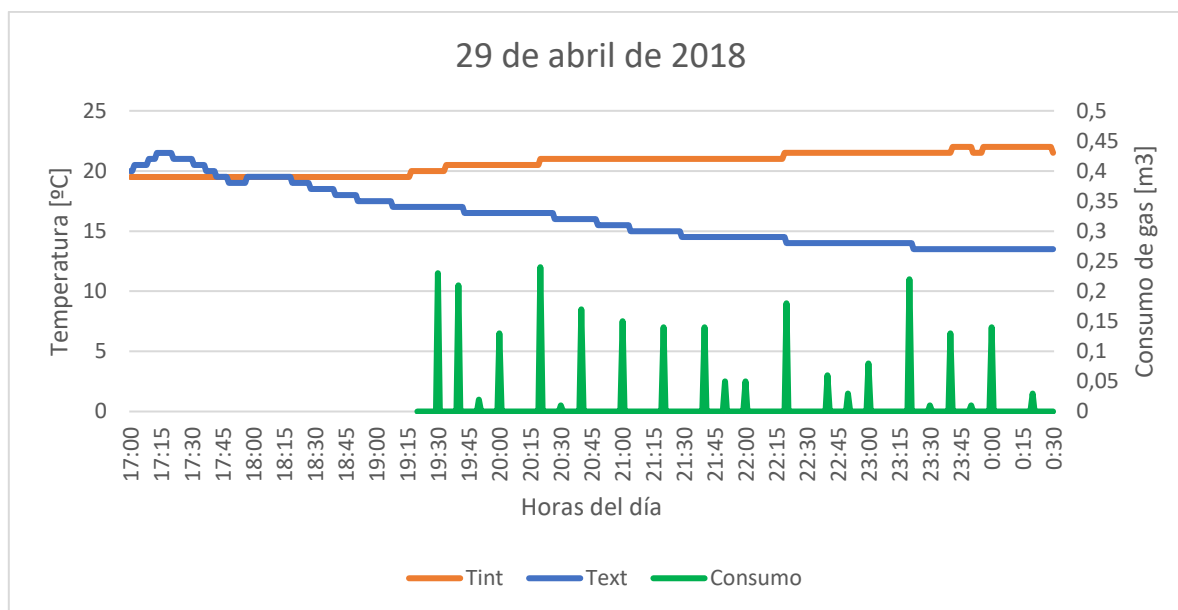


Figura 74. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (29/04/2018)

$$\Delta T = 21,5 - 19,5 = 2 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 22:19 - 19:16 = 3 \text{ h y } 3 \text{ min}$$

$$\Delta \text{Gas} = 14.024,19 - 14.022,16 = 2,03 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{Text media}} = 15,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

En la Figura 75 se reflejan las características del 30 de abril de 2018 y a continuación se reflejan los aspectos a destacar de este día.

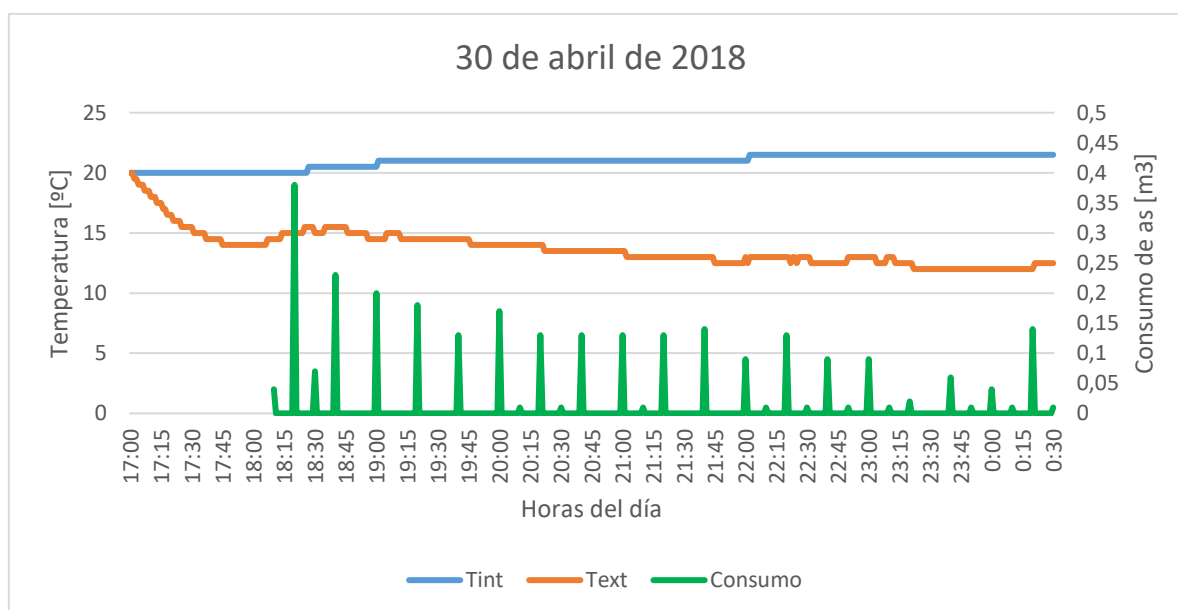


Figura 75. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (30/04/2018)

$$\Delta T = 21,5 - 20 = 1,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 22:02 - 18:19 = 3 \text{ h y } 43 \text{ min}$$

$$\Delta \text{Gas} = 14.027,68 - 14.025,54 = 2,14 \text{ m}^3$$

$$\text{Text}_{\text{media}} = 13,93 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

En la Figura 76 se aprecian las características del 1 de mayo de 2018 junto con los cuatro aspectos fundamentales en cuanto a la elevación de la temperatura en la vivienda.

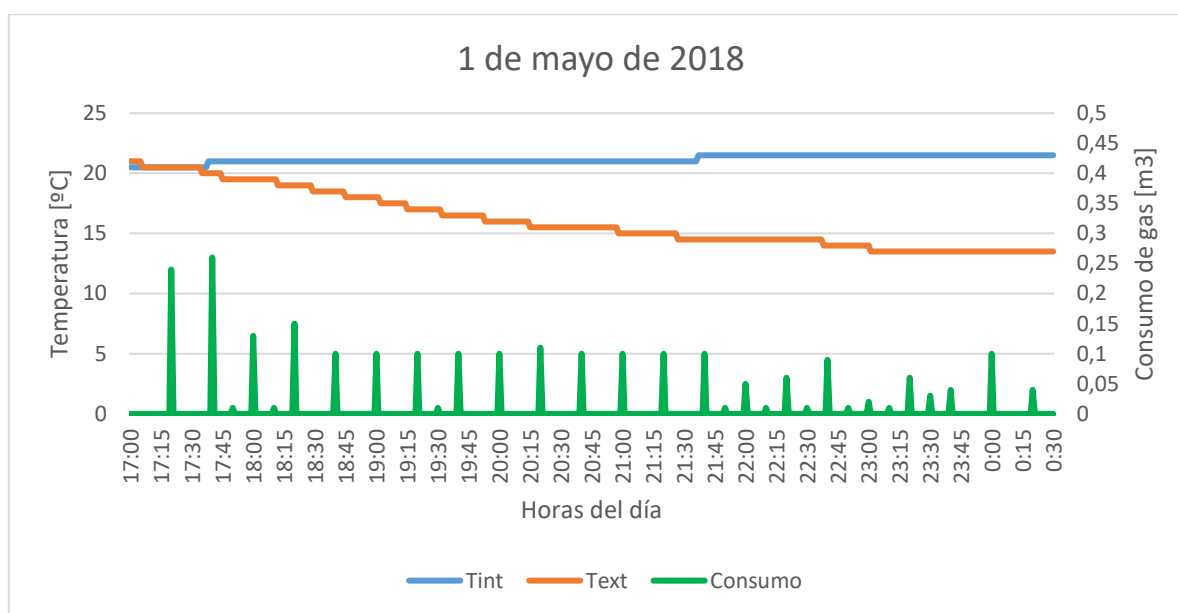


Figura 76. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (01/05/2018)

$$\Delta T = 21,5 - 20,5 = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 21:40 - 17:19 = 4 \text{ h y } 21 \text{ min}$$

$$\Delta \text{Gas} = 14.030,7 - 14.028,88 = 1,82 \text{ m}^3$$

$$\text{Text}_{\text{media}} = 17,17 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

En la Figura 77 se observan las características fundamentales del 2 de mayo de 2018. A continuación, se reflejan los cuatro aspectos destacables de ese día.

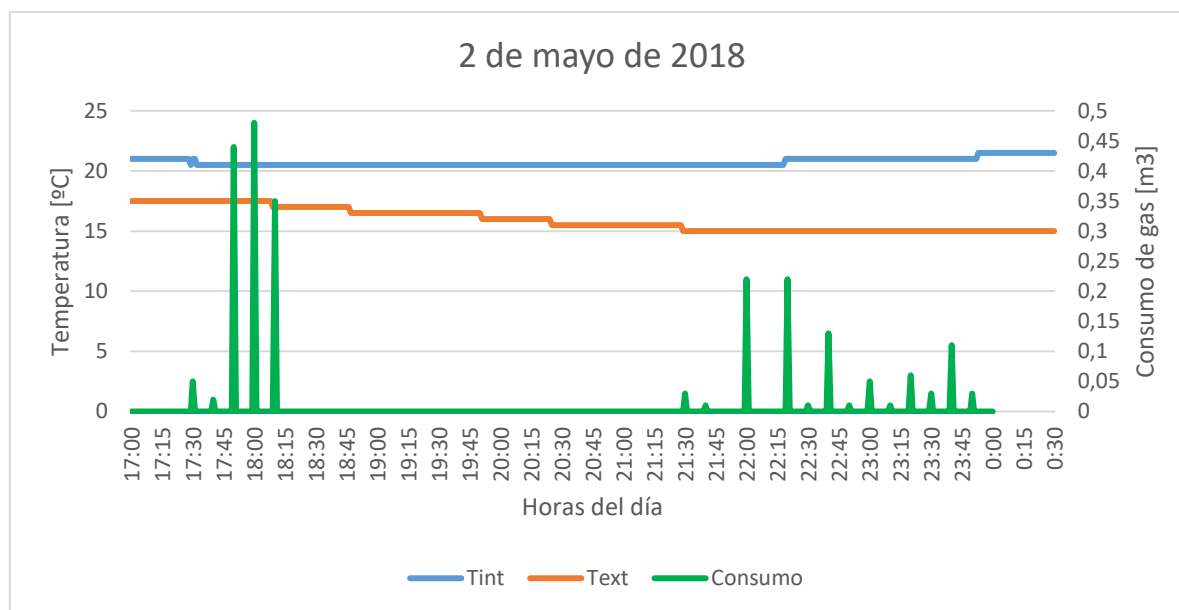


Figura 77. Temperatura interior, exterior y consumo de gas para el termostato Toon. (02/05/2018)

$$\Delta T = 21,5 - 20,5 = 1 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\Delta t = 23:53 - 21:59 = 1 \text{ h y } 54 \text{ min}$$

$$\Delta \text{Gas} = 14.034,23 - 14.033,35 = 0,88 \text{ m}^3$$

$$T_{\text{ext media}} = 15 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Uno de los parámetros que se pueden calcular a través de dicho ensayo es el consumo de gas natural estimado para la vivienda. Hay que destacar que la caldera propia en la instalación se corresponde tanto para calefacción como para ACS. En dicho ensayo se han analizado los consumos en los que se supone que la caldera está en funcionamiento para el circuito de calefacción, cuando se produce el incremento de temperatura en el interior de la vivienda.

Dichos consumos aparecen en unidades de m^3 , pero se necesitan en W para conocer la potencia que suministra la caldera a la vivienda. Existen unos factores de corrección que se utilizan en este caso. El factor de conversión de m^3 a kWh es el resultado de multiplicar el factor de corrección de volumen por el Poder Calorífico Superior (PCS). En la Ecuación (48) se refleja el factor de conversión.

$$\text{Factor conversion} = \text{Factor corrector volumen} \cdot \text{PCS} =$$

$$0,9752 \frac{\text{Nm}^3}{\text{m}^3} \cdot 11,7727 \frac{\text{kWh}}{\text{Nm}^3} = 11,480737 \frac{\text{kWh}}{\text{m}^3} \quad (48)$$

En la Tabla 24 se muestra los consumos de gas de cada uno de los cuatro días analizados en W, teniendo en cuenta el factor de conversión del consumo a kWh y el tiempo empleado en h.

Tabla 24. Balance de potencia calorífica suministrada a la vivienda durante los cuatro días ensayados

	Consumo (m³)	Consumo (kWh)	Tiempo (h)	Potencia (kW)	Potencia (W)
29 de abril	2,03	23,30590	3,05	7,641	7.641,28
30 de abril	2,14	24,56878	3,72	6,610	6.610,43
1 de mayo	1,82	20,89494	4,35	4,803	4.803,43
2 de mayo	0,88	10,10305	1,90	5,317	5.317,39

Realizando un promedio de los cuatro días ensayados la potencia obtenida es de 6.093 W aproximadamente. Se debe tener en cuenta que el ensayo se realizó en los meses de abril y mayo, donde el consumo de gas por calefacción es algo más reducido que durante los meses invernales. Para el modelo térmico de la vivienda, apartado 4.2, se realizan los cálculos con una estimación de potencia de 7.000 W.

6 CONCLUSIONES

6.1 ANÁLISIS DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

6.1.1 Inercia térmica de una vivienda

En la Tabla 25 se recoge el resumen de los datos correspondientes a la lectura del sensor explicado en los tres ensayos realizados.

Tabla 25. Resumen tabulado de las lecturas del sensor en los 3 ensayos realizados

		Temp (°C)	Humedad relativa (%rh)	Temp.rocío (°C)	Tiempo calentar	Tiempo enfriar	Tiempo mantener temp.
ENSAYO 1	Valor máx.	22	87,5	18,4	1 h 34 min	8 h 54 min	1 h 16 min
	Valor mín.	20	52,5	10,1			
	Media	20,5	59,3	12,3			
ENSAYO 2	Valor máx.	22,5	62,5	14,4	3 h 17 min	15 h 37 min	39 min
	Valor mín.	18,5	51	8,2			
	Media	20,4	59	12,1			
ENSAYO 3	Valor máx.	23	64,5	14,3	5 h 14 min	11 h	33 min
	Valor mín.	18	54,5	8,7			
	Media	20,3	61,7	12,6			

Se puede interpretar en este primer experimento que el tiempo empleado en calentar la vivienda resulta mayor cuanto mayor es la diferencia de temperaturas en el interior de la estancia. Es decir, el gradiente de temperaturas determina el tiempo a emplear para calentar el hogar. Cuanto mayor sea éste, mayor tiempo será necesario. Es por eso que el ensayo que mayor tiempo emplea es el tercero.

Un aspecto a destacar en este experimento es que, si el valor de temperatura en el interior de la vivienda es alto, alrededor de los 23 °C, la vivienda no se mantiene a dicha temperatura durante un periodo de tiempo elevado. Las razones por las que sucede esto pueden ser las siguientes:

- Climatología en el exterior de la vivienda. Cuanto peor sea ésta, menos tiempo permanece la casa con la temperatura más elevada.
- La temperatura en el interior de la vivienda al inicio del ensayo. Cuanto más baja sea ésta, menos tiempo permanece la vivienda con la temperatura máxima.

Por último y de forma general en los tres ensayos, el enfriamiento de la vivienda se prolonga en el tiempo. La vivienda tarda un tiempo considerable en volver al estado inicial. Un aspecto que influye con determinación son las condiciones atmosféricas del exterior.

El calor perdido por conducción hacia el exterior depende inversamente de la resistencia como indica la Ecuación (49) y se representa en la Figura 78.

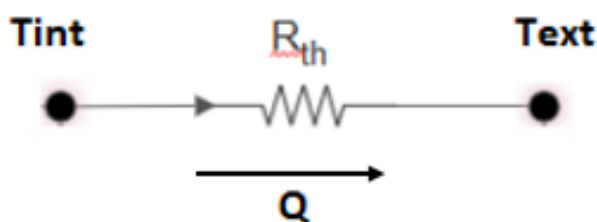


Figura 78. Flujo de calor desde el interior al exterior de la vivienda

$$Q = \frac{\Delta T}{R} \quad (49)$$

Como se consigue mantener ciertas temperaturas durante un tiempo determinado, es decir, el tiempo empleado en el enfriamiento de la vivienda hasta el estado inicial es elevado, se entiende que el calor perdido desde el interior de la estancia hasta el exterior es pequeño. Por tanto, la vivienda presenta una resistencia térmica elevada, buenos aislamientos o una envolvente térmica de calidad.

Otra razón que influye en el tiempo empleado para enfriar la estancia es la masa térmica de la vivienda, o inercia térmica. La cuál también puede ser elevada.

6.1.2 Evaluación de termostatos inteligentes

En este segundo experimento se puede concluir ciertos datos sobre el termostato inteligente objeto de estudio. En cuanto a su comportamiento para mantener la temperatura de consigna se puede interpretar que se aleja de manera ínfima de las temperaturas establecidas, pero que resulta más notorio cuando éstas son máximas. El sensor que posee dicho termostato se ajusta bastante a la realidad, es preciso.

El termostato indica encender el sistema de calefacción para las siguientes situaciones:

- 19 °C: cuando se encuentre a 1,5 °C por debajo
- 17 °C: antes de llegar a 1 °C por debajo
- 16 °C: cuando se encuentre próximo a la temperatura de consigna

En cuanto a su funcionamiento durante un día entero de funcionamiento cabe destacar que es el termostato que menor tiempo ha mantenido el sistema de calefacción encendido logrando, de esta forma, un ahorro al usuario en comparación con el resto de termostatos.

Se puede observar también que gracias a este termostato se ha conseguido un ambiente de confort en la vivienda durante un tiempo mayor que con el resto. Es decir,

las desviaciones de temperatura con respecto a la de consigna no han sido muy significativas.

6.1.3 Ahorro doméstico con Toon

A través de este experimento se ha obtenido un valor aproximado sobre la potencia calorífica aportada a la vivienda en lo que respecta al sistema de calefacción. Esto ha influido en los cálculos de parámetros del modelo térmico de la vivienda.

En la Figura 79 se representan los incrementos de temperatura conseguidos frente al tiempo que tarda en alcanzar la temperatura máxima para los cuatro días ensayados. El tiempo viene dado en minutos y el incremento de temperatura en grados Celsius.

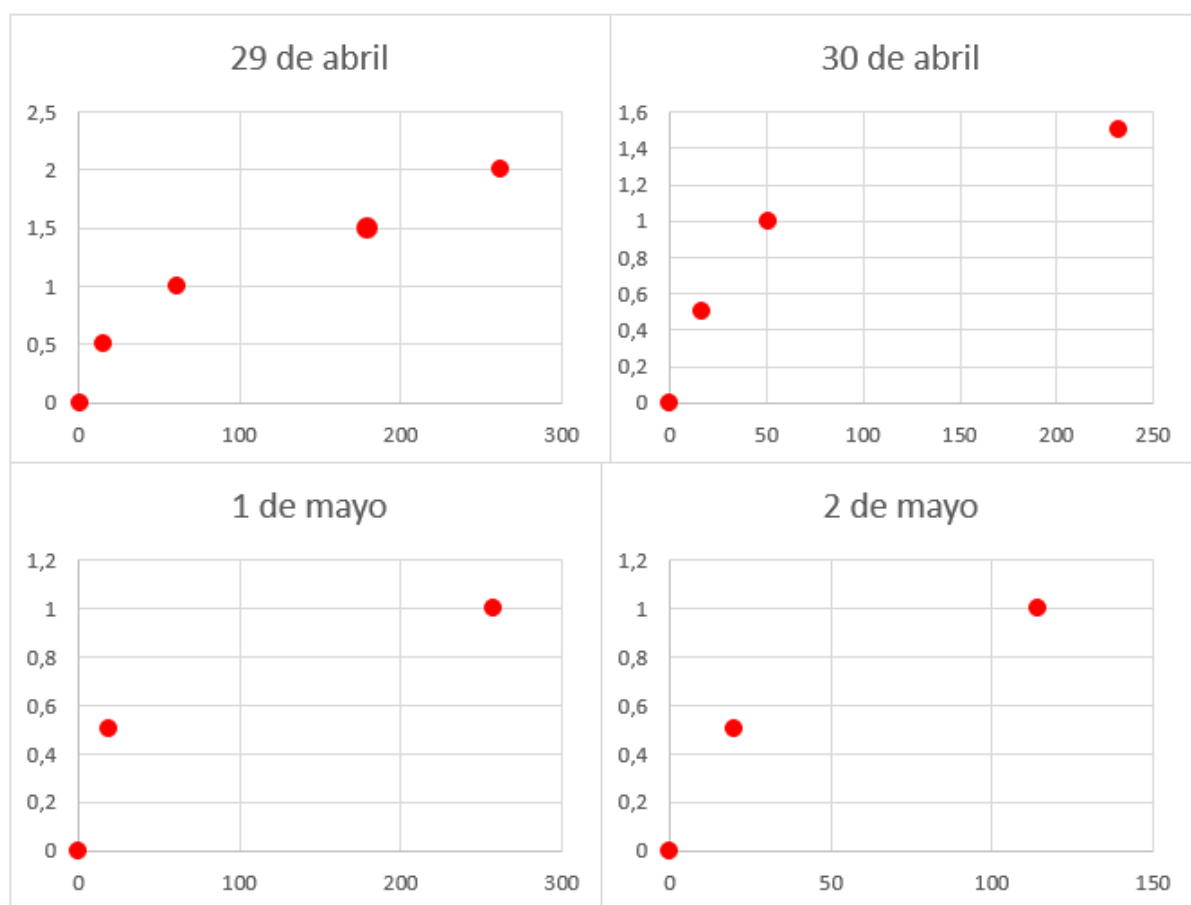


Figura 79. Representación del incremento de temperatura frente al incremento del tiempo para los cuatro días muestreados

Se interpreta de estas gráficas que el termostato Toon ofrece un crecimiento de temperatura lento. Es decir, permite obtener unas condiciones de confort óptimas, calentando la estancia de forma progresiva y calmada. De esta forma se consigue que el usuario se encuentre más cómodo sin ocasionarle momentos de malestar con subidas o bajadas bruscas de temperatura.

6.2 GENERALIDADES

En lo que respecta al modelo térmico de la vivienda existen una serie de aclaraciones que hay que mencionar. Resulta complicado determinar unas conclusiones que puedan ser adoptadas de manera general para cualquier tipo de vivienda o estancia. El estudio y análisis realizado en este proyecto se corresponde con dos tipos de vivienda de la Comunidad Autónoma de Cantabria situadas en Santander y en una localidad a unos 20 km de la capital. Es por ello que los resultados obtenidos son para unas viviendas concretas y puesto que es un dispositivo capaz de instalarse en cualquier región de España, tendría que ser estudiado en diversas localidades con el fin de obtener unos resultados más eficaces y satisfactorios.

Es importante conocer la vivienda en la que se va a instalar este termostato. De nada sirve que el usuario cambie o modele la instalación de calefacción y el dispositivo que la regula con el fin de un ahorro energético, si las condiciones térmicas de la vivienda no son adecuadas. Previamente a la instalación del dispositivo es necesario que la envolvente térmica de la vivienda en cuestión sea adecuada, que existan unos aislamientos térmicos en buen estado y analizar los posibles puentes térmicos del hogar.

Se observa que en el modelo construido predomina la sencillez. Esto es debido a la falta de datos técnicos disponibles de la vivienda estudiada. Como es un proyecto de ámbito general, no es posible concretar unas características térmicas, ya que cada hogar poseerá características diferentes. Si se quiere ajustar la experimentación lo más posible a la realidad, será necesario contar con dichos datos mencionados.

En el modelo es visible la importancia que representa la capacidad de almacenamiento térmico en el hogar. Se puede usar de manera inteligente para

permitir al usuario un uso efectivo del sistema de calefacción y consecuentemente, un ahorro energético y económico. Se observa también que la resistencia térmica calculada puede ajustarse a la realidad. Cuanto mayor sea ésta, menos potencia es necesaria introducir en el interior de la vivienda, y consecuentemente, el consumo energético se reducirá. El calor evacuado al exterior será menor. Por ello es importante incurrir en el aspecto de la envolvente térmica del edificio.

El factor humano juega un papel fundamental, y es el principal responsable para que el gasto por calefacción se reduzca. Es necesario concienciar e informar a los usuarios sobre el funcionamiento del termostato inteligente estudiado. De esta forma se permite hacer un uso más eficiente sobre consumos y calefacción. Es relevante que sean conscientes del uso que les dan a los equipos en la vivienda y el gasto de potencia que suponen. Este termostato permite a los usuarios consultar y disponer en todo momento de sus consumos energéticos. De esta forma toman conciencia sobre el gasto que les supone sus acciones cotidianas.

Toon, además de tener un sensor muy preciso en cuanto a temperatura, es el que menos tiempo ha mantenido el sistema de calefacción encendido y el que ha dispuesto de mayor confort a la estancia.

6.3 LÍNEAS FUTURAS

Se ha mostrado anteriormente un análisis de los datos y resultados llevados a cabo en los diferentes ensayos realizados. Como se ha mencionado con anterioridad ha faltado en este estudio la medición de más días durante mayor tiempo, con condiciones ambientales diferentes. Es decir, distintas condiciones térmicas exteriores, con mayor diferencia de temperaturas entre el interior de la vivienda y el exterior, o con mayor diferencia de temperaturas entre la temperatura interna de la vivienda y la temperatura de consigna.

Es por ello que se pueden realizar estudios similares en un futuro que permitan desarrollar y profundizar con mayor detalle en lo explicado anteriormente. Dar mayor relevancia a los meses de invierno, donde la demanda de calefacción y de consumo

energético es más significativa que en los meses de abril y mayo. Centrarse aún más en el ahorro y eficiencia energética.

Como el termostato estudiado ofrece la posibilidad de la instalación de otros dispositivos inteligentes en la vivienda, enchufes y bombillas, se puede ampliar el campo de estudio de este proyecto. Tener en cuenta la calefacción, pero atendiendo con mayor profundidad estos conceptos.

De igual forma, es posible proponer estudios y mejoras para la optimización del modelo térmico de una vivienda. Podrían considerarse otros datos a los expuestos en este documento que resulten significativos para la obtención de los parámetros de la vivienda.

La metodología propuesta en este proyecto se centra en una vivienda de uso residencial, en un piso de un edificio. Puede ampliarse el campo realizando estudios en diferentes tipos de viviendas, oficinas o edificios públicos.

A nivel personal este proyecto ha supuesto un reto para mí. Me ha hecho reflexionar sobre aspectos de la vida cotidiana que, aunque son frecuentes todos los días, anteriormente pasaban desapercibidos. Me ha hecho aprender conocimientos nuevos, ampliar mi formación y ganar experiencia. Realizar ensayos en mi propia vivienda para obtener diferentes tipos de datos, el tiempo dedicado a la redacción de este proyecto, así como búsqueda y recopilación de antecedentes y normativas. Conocer programas nuevos y manejar con mayor frecuencia los aprendidos a lo largo de la titulación. Todo ello ha supuesto un aprendizaje que mantendré en los años futuros.

7 BIBLIOGRAFÍA

- [1] AENOR. (2006). UNE-EN ISO 7730: 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
- [2] Red Eléctrica Española (REE). [Consulta: Julio 2018]. Disponible en: <http://www.ree.es/es/>
- [3] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación y Medio Ambiente. Inventario Nacional de emisiones de Gases de Efecto Invernadero (Edición 2018), correspondiente a la serie 1990-2016
- [4] International Energy Agency (IEA). [Consulta: Agosto 2018]. Disponible en: <https://www.iea.org/>
- [5] International Energy Agency (IEA). Tracking Clean Energy Progress (TCEP). Buildings. Heating [Consulta: Agosto 2018]. Disponible en: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/TrackingCleanEnergyProgress2017.pdf>
- [6] Eurostat (nrg_110a). Balance de energía editado en mayo de 2018. [Consulta: Julio de 2018].
- [7] Asociación de Empresas de Energías Renovables (APPA). Energía y renovables. [Consulta: Julio de 2018]. Disponible en: <http://www.appa.es/>
- [8] Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital. Secretaría de Estado de Energía (SEE). Libro de la energía en España 2016.
- [9] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Plan Nacional de Acción de Ahorro y Eficiencia Energética en España 2017-2020.
- [10] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Plan de Energías Renovables 2011-2020. Madrid 2011.
- [11] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. [Consulta: Julio de 2018]. Disponible en: <http://www.idae.es/>
- [12] Eurostat (nrg_pc_202). Precios del gas para consumidores domésticos editado en mayo de 2018. [Consulta: Agosto de 2018]

- [13] Eurostat (nrg_pc_204). Precios de la electricidad para consumidores domésticos editado en julio de 2018. [Consulta: Agosto de 2018]
- [14] Direccion General de Industria, Energía y Minas de la Comunidad de Madrid. Guía sobre las claves para la optimización de las instalaciones de calefacción individuales. (Madrid, 2014). Disponible en: <https://www.fenercom.com/pdf/publicaciones/Guia-sobre-las-claves-para-la-optimizacion-de-las-instalaciones-de-calefaccion-individuales-fenercom-2014.pdf>
- [15] AENOR. (2015). UNE-EN 442: Radiadores y convectores.
- [16] González, S. E. G., Pruneda, C. I. H., & Bustos, I. Z. (2007). Tecnología de la informacion y de la comunicacion. Patria.
- [17] MOSTERÍN, Jesús: La cultura humana (ed. Espasa, 2009, pg. 22-23)
- [18] C. Pérez, «Cambio tecnológico y oportunidades de desarrollo como blanco móvil.,» 2001
- [19] «Our Founder», Our Founder | Johnson Controls. [En línea]. Disponible en: <http://www.johnsoncontrols.com/about-us/history/our-founder> [Accedido: 07-abr-2018]
- [20] Ministerio de Industria, Energía y Turismo. (2007). Reglamento de Instalaciones Térmicas en los Edificios (RITE). (versión consolidada de 2013).
- [21] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2012). Guía Técnica de Instalaciones de Calefacción Individual.
- [22] Viesgo [Consulta: Mayo 2018]. Disponible en: <https://www.viesgo.com/es/>
- [23] Bustamante, S., Castro, P., Laso, A., Manana, M., & Arroyo, A. (2017). Smart thermostats: an experimental facility to test their capabilities and savings potential. Sustainability, 9(8), 1462.
- [24] Código Técnico de la Edificación. Documento básico DB-HE Ahorro de la Energía.
- [25] Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía. Calificación energética de edificios.

- [26] Asdrubali, F., D'Alessandro, F., Baldinelli, G., & Bianchi, F. (2014). Evaluating in situ thermal transmittance of green buildings masonries—A case study. *Case Studies in Construction Materials*, 1, 53-59.
- [27] Holman, J. P. (1998). *Transferencia de Calor*. 8ª. Edición. McGraw-Hill/Interamericana. España.
- [28] Ministerio de Industria, Turismo y Comercio (2008). *Guía Técnica de Procedimientos y aspectos de la simulación de instalaciones térmicas en edificios*.
- [29] Neila González, F. J., & Acha Román, C. (2009). *Arquitectura bioclimática y construcción sostenible*. DAPP Publicaciones Jurídicas SL Madrid.
- [30] Turégano, J. A., Hernández, M. A., & García, F. (2003). *La inercia térmica de los edificios y su incidencia en las condiciones de confort como refuerzo de los aportes solares de carácter pasivo*. Zaragoza, España.
- [31] AENOR. (1996). *UNE-EN ISO 7345: Aislamiento térmico. Magnitudes físicas y definiciones*.
- [32] Marantos, C., Siozios, K., & Soudris, D. (2017). A Flexible Decision-Making Mechanism Targeting Smart Thermostats. *IEEE Embedded Systems Letters*, 9(4), 105-108.
- [33] Carrier Air Conditioning Company. (2009). *Manual de Aire Acondicionado*. Barcelona: Marcombo S.A
- [34] C. N. Kurucz, D. Brandt, and S. Sim, "A linear programming model for reducing system peak through customer load control programs," *IEEE Trans. Power Systems*, vol. 11, no. 4, pp. 1817–1824, Nov. 1996.
- [35] Rubio-Bellido, C., Pulido-Arcas, J. A., & Cabeza-Lainez, J. M. (2015). Adaptation strategies and resilience to climate change of historic dwellings. *Sustainability*, 7(4), 3695-3713.
- [36] Sánchez-Guevara Sánchez, C., Sánchez, D., & Rubio, C. (2016). El enfoque adaptativo del confort térmico en Sevilla= The adaptive approach to thermal comfort in Seville. *Anales de edificación*, 2(1), 62-70.

- [37] Simulink. Matlab. Herramientas de MathWorks. [Consulta: Agosto 2018].
Disponible en: https://es.mathworks.com/?s_tid=gn_logo
- [38] Lascar Electronics [Consulta: Mayo 2018]. Disponible en:
<https://www.lascarelectronics.com/>
- [39] Raspberry Pi Foundation. [Consulta: Agosto 2018]. Disponible en:
<https://www.raspberrypi.org/>

8 ANEXOS

8.1 Anexo 1: Ficha técnica del sensor EL-21-CFR-2-LCD+

EL-21CFR-2-LCD+

EasyLog 21CFR Compatible, High Accuracy,
Temperature, Humidity & Dew Point Data Logger
with LCD Screen



- -35 to +80°C (-31 to +176°F) and 0 to 100%RH measurement range
- Stores over 16,000 readings for both temperature and humidity
- EasyLog 21CFR software available as a free download
- High contrast LCD, with two and a half digit temperature and humidity display function
- Logging rates between 10 seconds and 12 hours
- Immediate, delayed and push-to-start logging
- User-programmable alarm thresholds for both temperature and humidity
- Use as part of a 21CFR Part 11 compliant system



This standalone data logger measures and stores over 16,000 temperature and humidity readings from -35 to +80°C (-31 to +176°F) and 0 to 100%RH range at a resolution of 0.5°C (1°F) and 0.5%RH.

The user can easily set up the logger and view downloaded data by plugging the data logger into a PC's USB port and using the free EasyLog 21CFR software. Data, including calculated dew point, can then be graphed, printed and exported to other applications for detailed analysis. The encrypted data has full audit tracking to comply with the requirements of 21CFR Part 11.

The high contrast LCD can show a variety of temperature and humidity information. At the touch of a button, the user can cycle between the current temperature and humidity, along with the maximum and minimum stored values for temperature and humidity.

The data logger is supplied with a lithium metal battery, giving up to 2 years' logging life. The logger is protected against ingress from water and dust to IP67 standard when the cap is fitted.

SPECIFICATIONS

Temperature	Measurement range	-35°C to 80°C (-31°F to 176°F)
	Internal resolution	0.5°C (1°F)
	Accuracy (overall error)*	0.45°C (0.86°F) typical (5 to 60°C)
	Long term stability	<0.02°C (0.04°F) / year
Relative Humidity	Measurement range	0 to 100%RH
	Internal resolution	0.5%RH
	Accuracy (overall error)*	2.05%RH typical (10 to 90%RH)
	Long term stability	<0.25%RH/year
Dew Point	Accuracy (overall error)*	1.5°C typical (-35 to 80°C, 40 to 100%RH)
Logging rate	User selectable between 10 seconds & 12 hours	
Operating temperature range	-35 to +80°C (-31 to +176°F)	
Battery life	2 years (at 25°C and 1 minute logging rate, LCD on)	
Readings	16,382 temperature, 16,382 relative humidity	
Dimensions	126 x 25 x 22mm (4.96 x 0.98 x 0.86")	

* The overall error takes in to account the sensor accuracy (as shown on page 3) and the resolution of the data logger

ACCESSORIES

BAT 3V6 1/2AA Replacement battery

INCLUDED IN THE BOX

BAT 3V6 1/2AA Battery

EL-LCD WALL BRACKET Mounting Bracket



CALIBRATION CERTIFICATES NOW AVAILABLE

Lascar now offers a Traceable Calibration Certificate Service on Temperature Data Loggers. Using reference equipment which has been calibrated by a UKAS/NIST accredited laboratory and using apparatus traceable to national or international standards. For more information, please see www.lascarelectronics.com.



EL-21CFR-2-LCD+

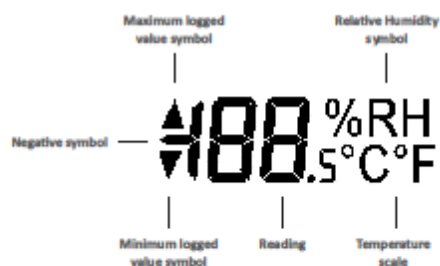
EasyLog 21CFR Compatible, High Accuracy,
Temperature, Humidity & Dew Point Data Logger
with LCD Screen



DISPLAY STATUS INDICATION

The EL-21CFR-2-LCD+ features a high contrast LCD which shows logged temperature and humidity values using seven segment numbers, along with annunciators. The LCD can also show information regarding the logging status.

The LCD shows six different recorded readings, which can be cycled through using the built-in push button. The most recent logged value, maximum logged value and minimum logged value can be displayed separately for humidity and temperature.



Display	Logger Status	Explanation
ds	Delayed Start	This is shown when the logger is set to start at a specific date and time. If the logger is set to 'LCD off' or 'LCD on for 30 seconds' mode, then this will only be shown after the button is pressed. Otherwise the display will remain blank
ps	Push to Start	This is shown when the logger is setup for 'Push to Start' logging
log	Logging	This is shown when the logger is running in 'LCD off' mode, and the button is pressed. The display clears again after three seconds
---	Stopped	If the logger has not been set to log and the button is pressed, three dashes are displayed for three seconds

EL-21CFR-2-LCD+

EasyLog 21CFR Compatible, High Accuracy,
Temperature, Humidity & Dew Point Data Logger
with LCD Screen



LED STATUS INDICATION

The EL-21CFR-2-LCD+ features two green/red LEDs, one to represent temperature measurement and the other to represent humidity measurement. Each is clearly marked on the logger. To save power, the status indication alternates between the two channels every 10 seconds. First you will see the status of the temperature channel and 10 seconds later you will see the status of the RH channel and so on.



In normal operation the green LED will flash, but will change to red if an alarm condition has been triggered. Using the EasyLog software it is possible to set the alarm to remain active even if the reading has returned to normal, in which case the alarm LED will continue to flash red. This 'Hold' feature in the software ensures the user is notified that at some point an alarm level has been exceeded, without needing to download the data.

	Green double flash The data logger is not currently logging, but is primed to start at a later date and time (delayed start)
	Green single flash The data logger is currently logging. No alarm on the channel
	Red single flash The data logger is currently logging. Low alarm on the channel
	Red double flash The data logger is currently logging. High alarm on the channel
	Green triple flash The data logger is full and has stopped logging. No alarm on the channel
	Red triple flash The data logger is full and has stopped logging. Alarm (high, low or both) on the channel
	No LEDs flash The data logger is stopped, the battery is empty or there is no battery
	Dual Red flash (every 60 seconds) The data logger battery is running low as it's voltage has dropped below 2.9V

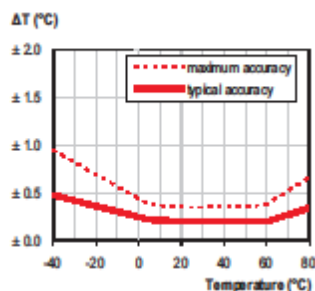
EL-21CFR-2-LCD+

EasyLog 21CFR Compatible, High Accuracy,
Temperature, Humidity & Dew Point Data Logger
with LCD Screen

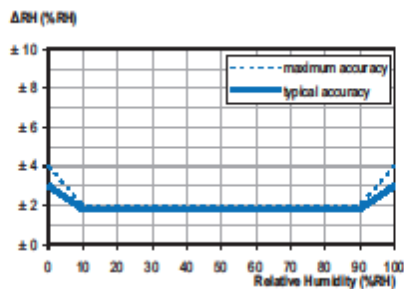


SENSOR ACCURACY & INFORMATION

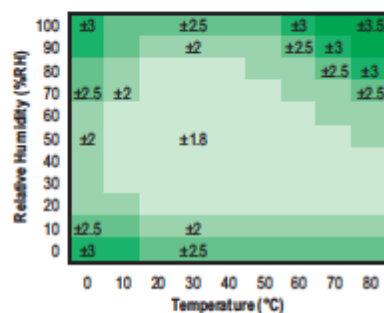
Typical and maximal tolerance for temperature sensor in °C.



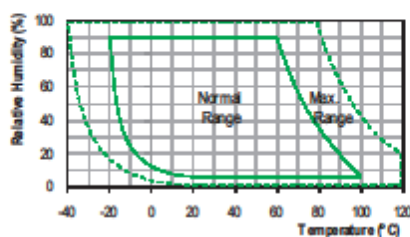
Typical and maximal tolerance at 25°C for relative humidity.



Typical accuracy of relative humidity measurements given in %RH for temperatures 0 to 80°C.



Operating conditions



Long term exposure to humidity levels outside of the 'normal' range may temporarily offset RH measurements ($\pm 3\%RH$ after 60 hours). Once returned to less extreme conditions the device will slowly return towards calibration state.

When tracking changes in ambient conditions, the response time of the humidity sensor in your data logger is approximately 20 minutes to reach 90% of the reading. However, if you are measuring step changes in humidity (for example if calibrating the product) it is advised that you leave the unit for up to four hours to ensure that it has enough time to settle at the new level.

It is worth remembering that the value of relative humidity is of course sensitive to temperature variation. As an example, at a relative humidity of $\sim 90\%RH$ at ambient temperature, a variation in temperature of $1^\circ C$ will result in a change of up to $-5\%RH$. Therefore when comparing multiple devices or calibrating them, any temperature variations must be considered.



www.lascarelectronics.com



Issue 1 07/2016 N.A. Page 5 of 6

EL-21CFR-2-LCD+

EasyLog 21CFR Compatible, High Accuracy,
Temperature, Humidity & Dew Point Data Logger
with LCD Screen



SENSOR ACCURACY & INFORMATION

The humidity measuring element in the humidity data loggers can be contaminated through exposure to a variety of compounds. These products should not be kept in proximity to volatile chemicals such as solvents and other organic compounds. Generally speaking, if a material or compound emits a strong odour you should not keep your humidity data logger in close proximity to it. If you would like more information, please contact your local Lascar Electronics office.

Exposure to extreme conditions or chemical vapours will require the following reconditioning procedure to bring the internal sensor back to calibration state:

Baking 80°C (176°F) at < 5%RH for 36 hours.
Re-hydration 20 to 30°C (70 to 90°F) at > 74%RH for 48 hours.

High levels of pollutants may cause permanent damage to the internal sensor.

BATTERY INFORMATION

Replacement

We recommend that you replace the battery annually, or prior to logging critical data. Only use 3.6V ½AA lithium metal batteries. The data logger does not lose its stored readings when the battery is discharged or replaced; however, the data logging process will stop and will not resume until the battery is replaced and the logger restarted by the EasyLog 21CFR software.

Before replacing the battery, remove the data logger from the PC. Please note that leaving the data logger plugged into the USB port for extended periods will cause some of the battery capacity to be lost.

Passivation

If left unused for extended periods of time lithium metal batteries, including those used in the EasyLog range of data loggers, naturally form a non-conductive internal layer preventing them from self-discharge and effectively increasing their shelf life. When first installed in the data logger, this may cause a momentary drop in the battery voltage (the Transient Minimum Voltage) as the internal layer is broken down, resulting in the data logger resetting. Inserting the batteries in the data logger and leaving it connected to a PC for about 30 seconds will remove this layer. After this, remove and re-install the batteries to reset the data logger. Overall battery life will not be affected.

WARNING

Handle lithium metal batteries carefully, observe warnings on battery casing. Dispose of in accordance with local regulations.



www.lascarelectronics.com



Issue 1 07/2016 N/A Page 6 of 6

8.2 Anexo 2: Tabla de temperaturas/resistencias para sensores de platino (Pt100) y desviaciones permisibles

DIN IEC 751

Temperature/Resistance Table for Platinum Sensors



°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω	°C	Ω
-200	18.52	20	107.79	240	190.47	480	287.56
-195	20.68	25	109.73	245	192.29	485	289.25
-190	22.83	30	111.67	250	194.10	470	270.93
-185	24.97	35	113.61	255	195.91	475	272.61
-180	27.10	40	115.54	260	197.71	480	274.29
-175	29.22	45	117.47	265	199.51	485	275.97
-170	31.33	50	119.40	270	201.31	490	277.64
-165	33.44	55	121.32	275	203.11	495	279.31
-160	35.54	60	123.24	280	204.90	500	280.98
-155	37.64	65	125.16	285	206.70	505	282.64
-150	39.72	70	127.08	290	208.48	510	284.30
-145	41.80	75	128.99	295	210.27	515	285.96
-140	43.88	80	130.90	300	212.05	520	287.62
-135	45.94	85	132.80	305	213.83	525	289.27
-130	48.00	90	134.71	310	215.61	530	290.92
-125	50.06	95	136.61	315	217.38	535	292.56
-120	52.11	100	138.51	320	219.15	540	294.21
-115	54.15	105	140.40	325	220.92	545	295.85
-110	56.19	110	142.29	330	222.69	550	297.49
-105	58.23	115	144.18	335	224.45	555	299.12
-100	60.26	120	146.07	340	226.21	560	300.75
-95	62.28	125	147.95	345	227.96	565	302.38
-90	64.30	130	149.83	350	229.72	570	304.01
-85	66.31	135	151.71	355	231.47	575	305.63
-80	68.33	140	153.58	360	233.21	580	307.25
-75	70.33	145	155.46	365	234.96	585	308.87
-70	72.33	150	157.33	370	236.70	590	310.49
-65	74.33	155	159.19	375	238.44	595	312.10
-60	76.33	160	161.05	380	240.18	600	313.71
-55	78.32	165	162.91	385	241.91	605	315.31
-50	80.31	170	164.77	390	243.64	610	316.92
-45	82.29	175	166.63	395	245.37	615	318.52
-40	84.27	180	168.48	400	247.09	620	320.12
-35	86.25	185	170.33	405	248.81	625	321.71
-30	88.22	190	172.17	410	250.53	630	323.30
-25	90.19	195	174.02	415	252.25	635	324.89
-20	92.16	200	175.86	420	253.96	640	326.48
-15	94.12	205	177.69	425	255.67	645	328.06
-10	96.09	210	179.53	430	257.38	650	329.64
-5	98.04	215	181.36	435	259.08	655	331.22
0	100.00	220	183.19	440	260.78	660	332.79
5	101.95	225	185.01	445	262.48		
10	103.90	230	186.84	450	264.18		
15	105.85	235	188.66	455	265.87		

Lake Shore Cryotronics, 575 McCorkle Blvd. Westerville, OH 43082-8888. Visit Our Website: www.lakeshore.com.
(614) 891-2243 – Phone, (614) 891-1362 – Fax, E-Mail: sales@lakeshore.com, service@lakeshore.com.

Permissible Deviations for Class A and Class B Platinum Sensors

The permissible deviations for platinum resistance elements (uncalibrated) are determined by the following equations (in accordance with DIN IEC 751):

Permissible Deviation – Class A

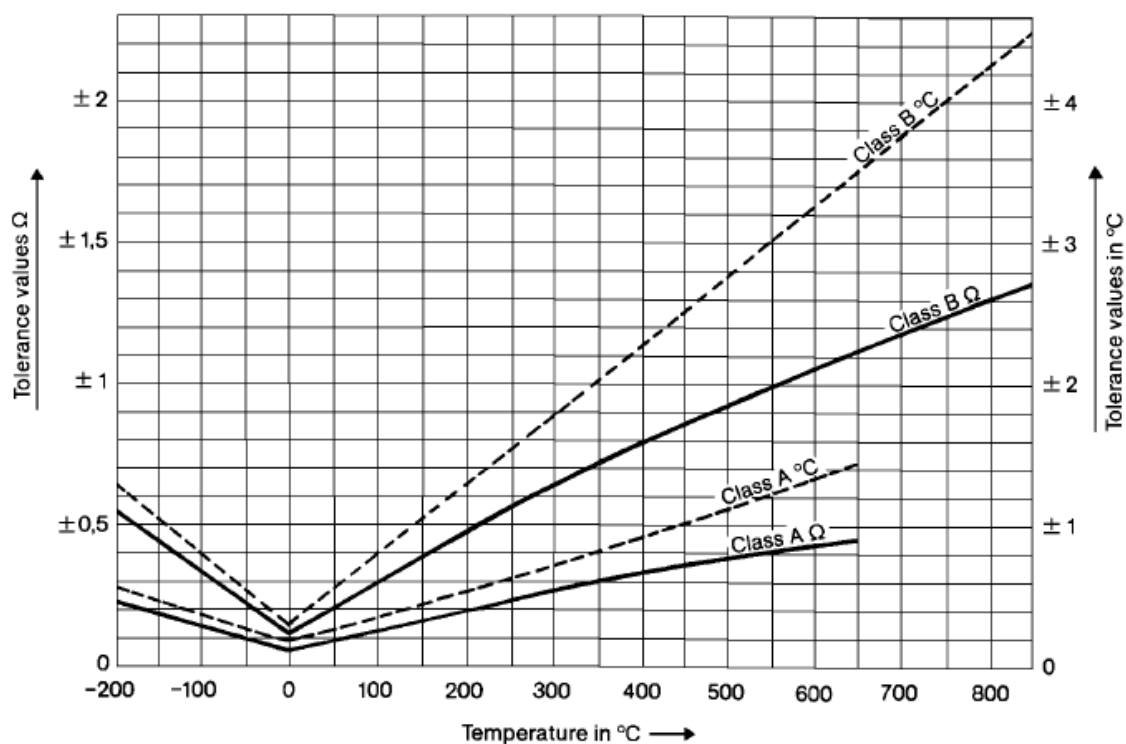
$$^{\circ}\text{C} = \pm(0.15 + 0.002 [t])$$

Permissible Deviation – Class B

$$^{\circ}\text{C} = \pm(0.3 + 0.005 [t])$$

Where $[t]$ is the temperature value in $^{\circ}\text{C}$.

Measuring Temp. $^{\circ}\text{C}$	Permissible Deviations			
	Class A		Class B	
	Ω	$^{\circ}\text{C}$	Ω	$^{\circ}\text{C}$
-200	± 0.24	± 0.55	± 0.56	± 1.3
-100	± 0.14	± 0.35	± 0.32	± 0.8
0	± 0.06	± 0.15	± 0.12	± 0.3
100	± 0.13	± 0.35	± 0.30	± 0.8
200	± 0.20	± 0.55	± 0.48	± 1.3
300	± 0.27	± 0.75	± 0.64	± 1.8
400	± 0.33	± 0.95	± 0.79	± 2.3
500	± 0.38	± 1.15	± 0.93	± 2.8
600	± 0.43	± 1.35	± 1.06	± 3.3
650	± 0.46	± 1.45	± 1.13	± 3.6
700	—	—	± 1.17	± 3.8
800	—	—	± 1.28	± 4.3
850	—	—	± 1.34	± 4.6



Form Number F038-00-00 Revision 0 — ©2000 Lake Shore Cryotronics, Inc. — 18 January 2000

8.3 Anexo 3: Especificaciones de Raspberry Pi Model B

- Quad Core 1.2GHz Broadcom BCM2837 64bit CPU
- 1GB RAM
- BCM43438 wireless LAN and Bluetooth Low Energy (BLE) on board
- 100 Base Ethernet
- 40-pin extended GPIO
- 4 USB 2 ports
- 4 Pole stereo output and composite video port
- Full size HDMI
- CSI camera port for connecting a Raspberry Pi camera
- DSI display port for connecting a Raspberry Pi touchscreen display
- Micro SD port for loading your operating system and storing data
- Upgraded switched Micro USB power source up to 2.5A

Características proporcionadas por [39].

8.4 Anexo 4: Tabla de zonas climáticas de la Península Ibérica y de las Islas Canarias establecidas por el Código Técnico de Edificación

Tabla B.1.- Zonas climáticas de la Península Ibérica

Zonas climáticas Península Ibérica																		
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1
Albacete	D3	677										h < 450			h < 950			h ≥ 950
Alicante/Alacant	B4	7					h < 250					h < 700			h ≥ 700			
Almería	A4	0	h < 100				h < 250	h < 400				h < 800			h ≥ 800			
Ávila	E1	1054														h < 550	h < 850	h ≥ 850
Badajoz	C4	168									h < 400	h < 450			h ≥ 450			
Barcelona	C2	1											h < 250			h < 450	h < 750	h ≥ 750
Bilbao/Bilbo	C1	214												h < 250			h ≥ 250	
Burgos	E1	861															h < 600	h ≥ 600
Cáceres	C4	385									h < 600				h < 1050			h ≥ 1050
Cádiz	A3	0		h < 150				h < 450				h < 600	h < 850			h ≥ 850		
Castellón/Castelló	B3	18						h < 50				h < 500			h < 600	h < 1000		h ≥ 1000
Ceuta	B3	0						h < 50										
Ciudad Real	D3	630									h < 450	h < 500			h ≥ 500			
Córdoba	B4	113					h < 150				h < 550				h ≥ 550			
Coruña, La/ A Coruña	C1	0												h < 200			h ≥ 200	
Cuenca	D2	975													h < 800	h < 1050		h ≥ 1050
Gerona/Girona	D2	143											h < 100			h < 600		h ≥ 600
Granada	C3	754	h < 50				h < 350				h < 600	h < 800			h < 1300			h ≥ 1300
Guadalajara	D3	708													h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Huelva	A4	50	h < 50				h < 150	h < 350				h < 800			h ≥ 800			
Huesca	D2	432										h < 200			h < 400	h < 700		h ≥ 700
Jáen	C4	436					h < 350				h < 750				h < 1250			h ≥ 1250
León	E1	346																h < 1250
Lérida/Lleida	D3	131										h < 100			h < 600			h ≥ 600
Lugo	D2	379											h < 200			h < 700		h ≥ 700
Lugo	D1	412															h < 500	h ≥ 500
Madrid	D3	589										h < 500			h < 950	h < 1000		h ≥ 1000
Málaga	A3	0						h < 300				h < 700			h ≥ 700			
Melilla	A3	130																
Murcia	B3	25						h < 100				h < 550			h ≥ 550			
Orense/Ourense	D2	327										h < 150	h < 300			h < 800		h ≥ 800
Oviedo	D1	214												h < 50			h < 550	h ≥ 550
Palencia	D1	722															h < 800	h ≥ 800
Palma de Mallorca	B3	1						h < 250				h ≥ 250						
Pamplona/Iruña	D1	456											h < 100			h < 300	h < 600	h ≥ 600
Pontevedra	C1	77												h < 350			h ≥ 350	
Salamanca	D2	770														h < 800		h ≥ 800
San Sebastián/Donostia	D1	5															h < 400	h ≥ 400
Santander	C1	1												h < 150			h < 650	h ≥ 650
Segovia	D2	1013														h < 1000		h ≥ 1000
Sevilla	B4	9					h < 200				h ≥ 200							
Soria	E1	984														h < 750	h < 800	h ≥ 800
Tarragona	B3	1						h < 50				h < 500			h ≥ 500			
Teruel	D2	995										h < 450	h < 500			h < 1000		h ≥ 1000
Toledo	C4	445									h < 500				h ≥ 500			
Valencia/València	B3	8						h < 50				h < 500			h < 950			h ≥ 950
Valladolid	D2	704														h < 800		h ≥ 800
Vitoria/Gasteiz	D1	512															h < 500	h ≥ 500
Zamora	D2	617														h < 800		h ≥ 800
Zaragoza	D3	207										h < 200			h < 650			h ≥ 650
Capital	Z.C.	Altitud	A4	A3	A2	A1	B4	B3	B2	B1	C4	C3	C2	C1	D3	D2	D1	E1

Tabla B.2.- Zonas climáticas de las Islas Canarias

Zonas climáticas Canarias						
Capital	Z.C.	Altitud	a3	A2	B2	C2
Palmas de Gran Canaria, Las	a3	114	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000
Santa Cruz de Tenerife	a3	0	h < 350	h < 750	h < 1000	h ≥ 1000

8.5 Anexo 5: Extracto del Código Técnico de Edificación para el cálculo del factor de corrección solar de huecos y lucernarios

Documento Básico HE Ahorro de Energía

Tabla E.9 Transmitancia térmica U_g en $W/m^2 K$

B'	$R_f (m^2K/W)$					
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5
5	2,63	1,14	0,72	0,53	0,42	0,35
6	2,30	1,07	0,70	0,52	0,41	0,34
7	2,06	1,01	0,67	0,50	0,40	0,33
8	1,87	0,97	0,65	0,49	0,39	0,33
9	1,73	0,93	0,63	0,48	0,39	0,32
10	1,61	0,89	0,62	0,47	0,38	0,32
12	1,43	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31
14	1,30	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31
16	1,20	0,75	0,55	0,43	0,35	0,30
18	1,12	0,72	0,53	0,42	0,35	0,29
20	1,06	0,69	0,51	0,41	0,34	0,29
22	1,00	0,67	0,50	0,40	0,33	0,29
24	0,96	0,65	0,49	0,39	0,33	0,28
26	0,92	0,63	0,48	0,39	0,32	0,28
28	0,89	0,61	0,47	0,38	0,32	0,28
30	0,86	0,60	0,46	0,38	0,32	0,27
32	0,83	0,59	0,45	0,37	0,31	0,27
34	0,81	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27
≥36	0,79	0,57	0,44	0,36	0,31	0,27

- 6 Alternativamente, para un cálculo más detallado podrá utilizarse el método descrito en el apartado 10 de la norma UNE EN ISO 13 370.

E.1.4 Huecos y lucernarios

E.1.4.1 Transmitancia térmica de huecos

- 1 La transmitancia térmica de los huecos U_H ($W/m^2 K$) se determinará mediante la siguiente expresión:

$$U_H = (1 - FM) \cdot U_{H,v} + FM \cdot U_{H,m} \quad (E.10)$$

siendo

$U_{H,v}$ la transmitancia térmica de la parte semitransparente [$W/m^2 K$];

$U_{H,m}$ la transmitancia térmica del marco de la ventana o lucernario, o puerta [$W/m^2 K$];

FM la fracción del hueco ocupada por el marco.

- 2 En ausencia de datos, la transmitancia térmica de la parte semitransparente $U_{H,v}$ podrá obtenerse según la norma UNE EN ISO 10 077-1:2001.

E.2 Factor solar modificado de huecos y lucernarios

- 1 El factor solar modificado en el hueco F_H o en el lucernario F_L se determinará utilizando la siguiente expresión:

$$F = F_s \cdot [(1 - FM) \cdot g_{\perp} + FM \cdot 0,04 \cdot U_m \cdot \alpha] \quad (E.11)$$

siendo

F_s el factor de sombra del hueco o lucernario obtenido de las tablas E.11 a E.15 en función del dispositivo de sombra o mediante simulación. En caso de que no se justifique adecuadamente el valor de F_s se debe considerar igual a la unidad;

FM la fracción del hueco ocupada por el marco en el caso de ventanas o la fracción de parte maciza en el caso de puertas;

$g_{\perp}$ el factor solar de la parte semitransparente del hueco o lucernario a incidencia normal. El factor solar puede ser obtenido por el método descrito en la norma UNE EN 410:1998;

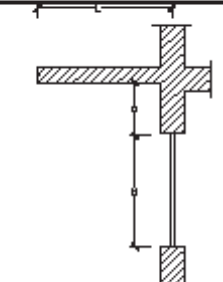
Documento Básico HE Ahorro de Energía

U_m la transmitancia térmica del marco del hueco o lucernario [$W/m^2 K$];
 α la absorptividad del marco obtenida de la tabla E.10 en función de su color.

Tabla E.10 Absorptividad del marco para radiación solar α

Color	Claro	Medio	Oscuro
Bianco	0,20	0,30	—
Amarillo	0,30	0,50	0,70
Beige	0,35	0,55	0,75
Marrón	0,50	0,75	0,92
Rojo	0,65	0,80	0,90
Verde	0,40	0,70	0,88
Azul	0,50	0,80	0,95
Gris	0,40	0,65	—
Negro	—	0,96	—

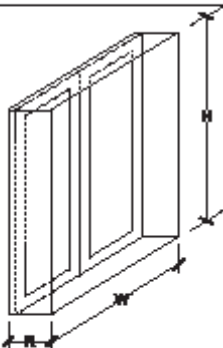
Tabla E.11: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Voladizo



NOTA: En caso de que exista un retranqueo, la longitud L se medirá desde el centro del acristalamiento.

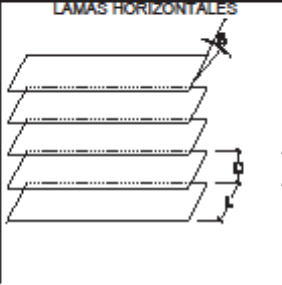
		$0,2 < L/H \leq 0,5$	$0,5 < L/H \leq 1$	$1 < L/H \leq 2$	$L/H > 2$
ORIENTACIONES DE FACHADAS	S	$0 < D/H \leq 0,2$	0,82	0,50	0,28
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,87	0,64	0,39
		$D/H > 0,5$	0,93	0,82	0,60
	SE/SO	$0 < D/H \leq 0,2$	0,90	0,71	0,43
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,94	0,82	0,60
		$D/H > 0,5$	0,98	0,93	0,84
	E/O	$0 < D/H \leq 0,2$	0,92	0,77	0,55
		$0,2 < D/H \leq 0,5$	0,96	0,86	0,70
		$D/H > 0,5$	0,99	0,96	0,89

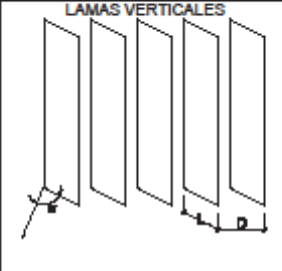
Tabla E.12: Factor de sombra para obstáculos de fachada: Retranqueo



		$0,05 < R/W \leq 0,1$	$0,1 < R/W \leq 0,2$	$0,2 < R/W \leq 0,5$	$R/W > 0,5$
ORIENTACIONES DE FACHADAS	S	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,82	0,74	0,62
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,76	0,67	0,56
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,56	0,51	0,39
		$R/H > 0,5$	0,35	0,32	0,27
	SE/SO	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,86	0,81	0,72
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,79	0,74	0,66
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,59	0,56	0,47
		$R/H > 0,5$	0,38	0,36	0,32
	E/O	$0,05 < R/H \leq 0,1$	0,91	0,87	0,81
		$0,1 < R/H \leq 0,2$	0,86	0,82	0,76
		$0,2 < R/H \leq 0,5$	0,71	0,68	0,61
		$R/H > 0,5$	0,53	0,51	0,48

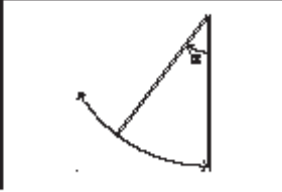
Tabla E.13 Factor de sombra para obstáculos de fachada: lamas

LAMAS HORIZONTALES			ANGULO DE INCLINACIÓN (β)		
			0	30	60
	ORIENTACIÓN	SUR	0,49	0,42	0,26
		SURESTE/ SUROESTE	0,54	0,44	0,26
		ESTE/ OESTE	0,57	0,45	0,27

LAMAS VERTICALES			ANGULO DE INCLINACIÓN (α)						
			-60	-45	-30	0	30	45	60
	ORIENTACIÓN	SUR	0,37	0,44	0,49	0,53	0,47	0,41	0,32
		SURESTE	0,46	0,53	0,56	0,56	0,47	0,40	0,30
		ESTE	0,39	0,47	0,54	0,63	0,55	0,45	0,32
		OESTE	0,44	0,52	0,58	0,63	0,50	0,41	0,29
		SUROESTE	0,38	0,44	0,50	0,56	0,53	0,48	0,38

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en estas tablas han sido calculados para una relación D/L igual o inferior a 1.
El ángulo α debe ser medido desde la normal a la fachada hacia el plano de las lamas, considerándose positivo en dirección horaria.

Tabla E.14 Factor de sombra para obstáculos de fachada: toldos

	CASO A	Tejido opacos $\tau=0$		Tejidos translúcidos $\tau=0,2$	
	α	SE/S/SO	E/O	SE/S/SO	E/O
	30	0,02	0,04	0,22	0,24
	45	0,05	0,08	0,25	0,28
	60	0,22	0,28	0,42	0,48

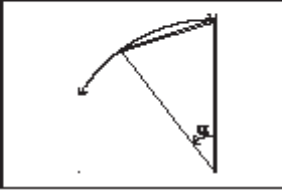
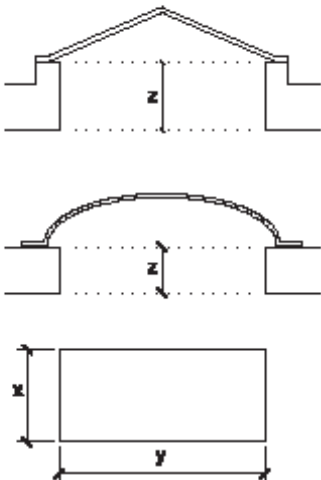
	CASO B	Tejido opacos $\tau=0$			Tejidos translúcidos $\tau=0,2$		
	α	S	SE/SO	E/O	S	SE/SO	E/O
	30	0,43	0,61	0,67	0,63	0,81	0,87
	45	0,20	0,30	0,40	0,40	0,50	0,60
	60	0,14	0,39	0,28	0,34	0,42	0,48

Tabla E.15 Factor de sombra para lucernarios

		Y / Z						
		0,1	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	
	X / Z	0,1	0,42	0,43	0,43	0,43	0,44	0,44
		0,5	0,43	0,46	0,48	0,50	0,51	0,52
		1,0	0,43	0,48	0,52	0,55	0,58	0,59
		2,0	0,43	0,50	0,55	0,60	0,66	0,68
		5,0	0,44	0,51	0,58	0,66	0,75	0,79
		10,0	0,44	0,52	0,59	0,68	0,79	0,85

NOTAS Los valores de factor de sombra que se indican en esta tabla son válidos para lucernarios sensiblemente horizontal es.
En caso de lucernarios de planta elíptica o circular podrán tomarse como dimensiones características equivalentes los ejes mayor y menor o el diámetro.

8.6 Anexo 6: Perfiles de uso normalizado (solicitaciones interiores) recogidos en CTE [7]. Tabla de valores de calor latente o sensible por carga de ocupación.

Documento Básico HE: Ahorro de energía

Apéndice C Perfiles de uso

C.1 Perfiles de uso

Las siguientes tablas recogen los perfiles de uso normalizados de los edificios (solicitaciones interiores) en función de su uso, *densidad de las fuentes internas* (baja, media o alta) y *periodo de utilización* (8, 12, 16 y 24h). En aquellos edificios de uso no residencial que no puedan asimilarse a uno de los perfiles de uso normalizados, podrá emplearse, previa justificación, perfiles de uso específicos.

USO RESIDENCIAL	(24h, BAJA)						
	1-7	8	9-15	16-18	19	20-23	24
Temp Consigna Alta (°C)							
Enero a Mayo	—	—	—	—	—	—	—
Junio a Septiembre	27	—	—	25	25	25	27
Octubre a Diciembre	—	—	—	—	—	—	—
Temp Consigna Baja (°C)							
Enero a Mayo	17	20	20	20	20	20	17
Junio a Septiembre	—	—	—	—	—	—	—
Octubre a Diciembre	17	20	20	20	20	20	17
Ocupación sensible (W/m²)							
Laboral	2,15	0,54	0,54	1,08	1,08	1,08	2,15
Sábado y Festivo	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15	2,15
Ocupación latente (W/m²)							
Laboral	1,36	0,34	0,34	0,68	0,68	0,68	1,36
Sábado y Festivo	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36	1,36
Iluminación (W/m²)							
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,2
Equipos (W/m²)							
Laboral, Sábado y Festivo	0,44	1,32	1,32	1,32	2,20	4,40	2,2
Ventilación verano¹							
Laboral, Sábado y Festivo	4,00	4,00	*	*	*	*	*
Ventilación invierno²							
Laboral, Sábado y Festivo	*	*	*	*	*	*	*

¹ En régimen de verano, durante el periodo comprendido entre la 1 y las 8 horas, ambas incluidas, se supondrá que los espacios habitables de los edificios destinados a vivienda presentan una ventilación originada por la apertura de ventanas de 4 renovaciones por hora. El resto del tiempo, indicados con * en la tabla, el número de renovaciones hora será igual al mínimo exigido por el DB HS

² El número de renovaciones hora, indicado con * en la tabla, será igual al mínimo exigido por el DB HS

Tabla 26. Carga térmica por ocupación. Fuente: Adaptado de Manual de Aire Acondicionado (Carrier) [31]

Aplicación	Grado de actividad	Temperatura del local [°C]									
		21		24		26		27		28	
		S [W]	L [W]	S [W]	L [W]	S [W]	L [W]	S [W]	L [W]	S [W]	L [W]
Teatro, escuela primaria	Sentados en reposo	75	27	67	35	62	41	57	45	51	51
Escuela secundaria	Sentados, trabajo muy ligero	79	37	70	47	63	53	56	60	52	64
Oficina, hotel, apartamento, escuela superior	Empleado de oficina	83	49	71	60	63	69	58	73	52	79
Almacenes, tienda	De pie, marcha lenta	83	49	71	60	63	69	58	73	52	79
Farmacia	Sentado, de pie	85	62	74	72	64	83	58	88	52	94
Banco	De pie, marcha lenta	85	62	74	72	64	83	58	88	52	94
Restaurante	Sentado	94	67	83	79	71	91	64	98	56	106
Fábrica, trabajo ligero	Trabajo ligero en el banco de taller	107	113	86	134	72	148	64	156	56	164
Sala de baile	Baile o danza	117	131	95	154	80	169	72	177	64	185
Ligero	Marcha 5 km/h	135	158	112	181	97	197	88	205	79	214
Pista de bowling, Fábrica	Trabajo penoso	177	248	154	271	142	283	136	288	131	293

*S ≡ Calor sensible [W]

*L ≡ Calor latente [W]

8.7 Anexo 7: Factores de corrección de la emisión calorífica de los radiadores.

Emisores de calor

FACTORES DE CORRECCIÓN DE LA EMISIÓN CALORÍFICA DE LOS RADIADORES EN FUNCIÓN DEL SALTO TÉRMICO ENTRE LAS TEMPERATURAS CARACTERÍSTICAS DEL RADIADOR Y AMBIENTE PARA DIFERENTES COEFICIENTES CARACTERÍSTICOS DE EMISIÓN
SALTO TÉRMICO CARACTERÍSTICO 50°

1,16	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51	0,53
30	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,66	0,68	0,71	0,73	0,75
40	0,77	0,79	0,82	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,95	0,98
50	1,00	1,02	1,05	1,07	1,09	1,12	1,14	1,16	1,19	1,21
60	1,24	1,26	1,28	1,31	1,33	1,36	1,38	1,40	1,43	1,45
70	1,48	1,50	1,53	1,55	1,58	1,60	1,63	1,65	1,68	1,70
1,19	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,50	0,52
30	0,54	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,68	0,70	0,72	0,74
40	0,77	0,79	0,81	0,84	0,86	0,88	0,91	0,93	0,95	0,98
50	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,12	1,14	1,17	1,19	1,22
60	1,24	1,27	1,29	1,32	1,43	1,37	1,39	1,42	1,44	1,47
70	1,49	1,52	1,54	1,57	1,59	1,62	1,65	1,67	1,70	1,72
1,22	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,43	0,45	0,47	0,49	0,51
30	0,54	0,56	0,58	0,60	0,62	0,65	0,67	0,69	0,72	0,74
40	0,76	0,78	0,81	0,83	0,86	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98
50	1,00	1,02	1,05	1,07	1,10	1,12	1,15	1,17	1,20	1,22
60	1,25	1,27	1,30	1,33	1,35	1,38	1,40	1,43	1,46	1,48
70	1,51	1,55	1,56	1,59	1,61	1,66	1,69	1,69	1,72	1,75
1,25	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48	0,51
30	0,53	0,55	0,57	0,59	0,62	0,64	0,66	0,69	0,71	0,73
40	0,76	0,78	0,80	0,83	0,85	0,88	0,90	0,93	0,95	0,98
50	1,00	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,15	1,18	1,20	1,23
60	1,26	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39	1,41	1,44	1,47	1,50
70	1,52	1,55	1,58	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,74	1,77
1,28	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,31	0,33	0,35	0,37	0,39	0,41	0,44	0,45	0,48	0,51
30	0,52	0,54	0,56	0,59	0,61	0,63	0,66	0,68	0,70	0,73
40	0,75	0,78	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,92	0,95	0,97
50	1,00	1,03	1,05	1,08	1,10	1,13	1,16	1,18	1,21	1,24
60	1,26	1,29	1,32	1,34	1,37	1,40	1,43	1,45	1,48	1,51
70	1,54	1,57	1,59	1,62	1,65	1,68	1,71	1,74	1,77	1,80
1,31	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,30	0,32	0,34	0,36	0,38	0,40	0,42	0,45	0,47	0,49
30	0,51	0,53	0,56	0,58	0,60	0,63	0,65	0,67	0,70	0,72
40	0,75	0,77	0,80	0,82	0,85	0,87	0,90	0,92	0,95	0,97
50	1,00	1,03	1,05	1,08	1,11	1,13	1,16	1,19	1,21	1,24
60	1,27	1,30	1,33	1,35	1,38	1,41	1,44	1,47	1,50	1,51
70	1,55	1,58	1,61	1,64	1,67	1,70	1,73	1,76	1,79	1,82

(Continuación)

1,34	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	0,29	0,31	0,33	0,35	0,37	0,40	0,42	0,44	0,46	0,48
30	0,50	0,53	0,55	0,57	0,60	0,62	0,64	0,67	0,69	0,72
40	0,74	0,77	0,79	0,82	0,84	0,87	0,89	0,92	0,95	0,97
50	1,00	1,03	1,05	1,08	1,11	1,14	1,16	1,19	1,22	1,25
60	1,28	1,31	1,33	1,36	1,39	1,42	1,45	1,48	1,51	1,54
70	1,57	1,60	1,63	1,66	1,69	1,72	1,75	1,78	1,81	1,85

8.8 Anexo 8: Informe de precios energéticos regulados (Tarifas de gas natural y electricidad).



Nº 34
Año 2018

INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS REGULADOS

Datos julio de 2018

1. GAS NATURAL

1.1 TUR (Valores de aplicación a partir del 1/07/2018)

T.U.R. GAS NATURAL				
Tarifa	Término fijo (€/cliente)/mes	Δ (*)	Término variable cent/kWh	Δ (*)
T.U.R. 1. Consumo $\leq$ 5.000 kWh/año	4,28	-0,70%	5,375667	4,14%
T.U.R. 2. 5.000 kWh/año < Consumo $\leq$ 50.000 kWh/año	8,44	-0,12%	4,688267	4,77%

(*) Variación con respecto a la TUR anterior: BOE nº 79; 31 de marzo de 2018.

Coste Materia Prima (Gas Natural): 2,2566 cent/kWh (+10,5% incremento con respecto al valor de abril de 2018).

Fuente: BOE nº 158; 30 de junio de 2018.

1.2 PEAJES (Valores de aplicación a partir del 1/01/2018)

PEAJE	TÉRMINOS DE PEAJE				TÉRMINO ENERGÍA
	Término fijo c€/kWh día/mes	Δ (*)	Término variable c€/kWh	Δ (*)	Término variable c€/kWh
Peaje 1 (P>60bar)					
1.1 Consumo $\leq$ 200GWh	3,4560	0,00%	0,0847	0,00%	Varía según oferta de la compañía
1.2 200GWh/año < Consumo $\leq$ 1000 GWh/año	3,0875	0,00%	0,0682	0,00%	
1.3 .Consumo > 1000 GWh/año	2,8657	0,00%	0,0615	0,00%	
Peaje 2 (4 bar<P≤60 bar)					
2.1 Consumo $\leq$ 0,5 GWh/año	25,3055	0,00%	0,1934	0,00%	Varía según oferta de la compañía
2.2 0,5 < Consumo $\leq$ 5 GWh/año	6,8683	0,00%	0,1543	0,00%	
2.3 5 < Consumo $\leq$ 30 GWh/año	4,4971	0,00%	0,1249	0,00%	
2.4 30 < Consumo $\leq$ 100 GWh/año	4,1210	0,00%	0,1121	0,00%	
2.5 100 < Consumo $\leq$ 500 GWh/año	3,7887	0,00%	0,0983	0,00%	
2.6 Consumo > 500 GWh/año	3,4848	0,00%	0,0852	0,00%	
Peaje 3 (Ps 4 bar)					
3.1 Consumo $\leq$ 5.000 kWh/año	2,53	0,00%	2,9287	0,00%	Varía según oferta de la compañía
3.2 5.000 < Consumo $\leq$ 50.000 kWh/año	5,79	0,00%	2,2413	0,00%	
3.3 50.000 kWh/año < Consumo $\leq$ 100 MWh/año	54,22	0,00%	1,6117	0,00%	Varía según oferta de la compañía
3.4 Consumo > 100 MWh/año	80,97	0,00%	1,3012	0,00%	
3.5 Consumo > 8 GWh/año	5,9258	0,00%	0,2010	0,00%	

NOTA: En 2018 se mantienen vigentes los peajes y cánones establecidos en la Orden IET/2446/2013, de 27 de diciembre, en la Orden IET/2445/2014, de 19 de diciembre y en la Orden ETU/1977/2016, de 23 de diciembre.

(*) Variación con respecto a peajes anteriores: BOE nº 302; 18 de diciembre de 2015.

Fuente: BOE nº 314; 27 diciembre de 2017.

Nº 34
Año 2018**INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS REGULADOS***Datos julio de 2018***1.2. ALQUILER DE CONTADORES (Valores de aplicación a partir del 1/01/2018)**

Caudal del contador (m3/h)	Tarifas del alquiler		Δ (%)
Hasta 3 m3/hora	0,58 €/mes		-15,94%
Hasta 6 m3/hora	0,58 €/mes		-18,97%
6 m3/hora < Q ≤ 10 m3/hora	0,61 €/mes		-13,11%
Caudal del contador (m3/h)	valor medio del contador €	valor calculado €/mes	Δ (%)
Q<10	210,94	2,64	0,000%
Q<25	388,25	4,85	0,000%
Q<40	752,97	9,41	0,000%
Q<65	1.538,21	19,23	0,000%
Q<100	2.082,41	26,03	0,000%
Q<160	3.266,32	40,83	0,000%
Q<250	6.912,62	86,41	0,000%
equipos de telemedida		€/mes	variación valor anterior (%)
para una sola línea		76,99	0,00%
para línea adicional		14,76	0,00%

(*) Variación con respecto a valores anteriores. BOE nº 314; 29 de diciembre de 2016.

Fuente: BOE nº 314; 27 de diciembre de 2017.



Nº 34
Año 2018

INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS REGULADOS

Datos julio de 2018

2. TARIFAS ELÉCTRICAS

2.1. PRECIOS DE APLICACIÓN A PEQUEÑOS CONSUMIDORES APLICABLES DESDE ABRIL DE 2014

(Valores de aplicación a partir del 1/01/2018)

PRECIOS VOLUNTARIOS PARA EL PEQUEÑO CONSUMIDOR (PVPC) ^(*)					
TARIFA 2.0DHS	Peaje de acceso ⁽¹⁾		Coste de comercialización ⁽²⁾		Coste de energía €/kWh
	Término de potencia €/kW y mes	Término de energía €/kWh y mes	Término de potencia €/kW y mes ^(**)	Término de energía €/kWh y mes ^(***,iv)	
	3,1702855	Periodo1: 0,062012 Periodo2: 0,002879 Periodo3: 0,000886	0,25942	0,001647 (2014) ⁽ⁱ⁾ 0,001970 (2015) ⁽ⁱ⁾ 0,001589 (2016) ⁽ⁱ⁾ 0,000557 ⁽ⁱⁱ⁾	Coste horario de energía en el mercado de producción durante el periodo facturado y otros costes, calculados según Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo.
TARIFA 2.0DH	Término de potencia €/kW y mes	Término de energía €/kWh y mes	Término de potencia €/kW y mes ^(**)	Término de energía €/kWh y mes ^(***,iv)	
	3,1702855	Periodo1: 0,062012 Periodo2: 0,002215	0,25942	0,001647 (2014) ⁽ⁱ⁾ 0,001970 (2015) ⁽ⁱ⁾ 0,001589 (2016) ⁽ⁱ⁾ 0,000557 ⁽ⁱⁱ⁾	
TARIFA 2.0A	Término de potencia €/kW y mes	Término de energía €/kWh y mes	Término de potencia €/kW y mes ^(**)	Término de energía €/kWh y mes ^(***,iv)	
	3,1702855	0,044027	0,25942	0,001647 (2014) ⁽ⁱ⁾ 0,001970 (2015) ⁽ⁱ⁾ 0,001589 (2016) ⁽ⁱ⁾ 0,000557 ⁽ⁱⁱ⁾	

NOTAS:

- El precio voluntario para el pequeño consumidor viene a sustituir a las tarifas de último recurso de electricidad existentes hasta la aprobación de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre del Sector Eléctrico. Su metodología de cálculo se regula en el Real Decreto 216/2014, de 28 de marzo.
- La Orden ETU/1948/2016, de 22 de diciembre establece los nuevos valores de los costes de comercialización a aplicar en el cálculo del precio voluntario para el pequeño consumidor, a efectos de las regularizaciones a realizar en los años 2014, 2015 y 2016, según lo previsto en el Real Decreto 469/2016, por el que se modifica el Real Decreto 216/2014.
- (*) Podrán acogerse a los PVPC los titulares de los puntos de suministro efectuados a tensiones no superiores a 1 kV y con potencia contratada igual o inferior a 10 kW.
- (**) Retribución fija de aplicación en el periodo 2014-2018.
- (***) Retribución variable de aplicación: (i) en el periodo 01/04/2014-24/12/2016; (ii) en el periodo 2016-2018.

Fuentes: ⁽ⁱ⁾ BOE nº314; 27 de diciembre de 2017; ⁽ⁱⁱ⁾ BOE nº 310; 24 de diciembre de 2016.

PRECIOS APLICABLES A OTROS CONSUMIDORES

TUR PARA CONSUMIDORES VULNERABLES (BENEFICIARIOS DEL BONO SOCIAL) ^(***)	El precio de la tarifa de último recurso ^(****) que deberán pagar los consumidores vulnerables será el que resulte de aplicar el precio voluntario para el pequeño consumidor que corresponda, descontando un 25% en todos los términos.
--	---

(**) En la actualidad, tienen derecho a acogerse al bono social los consumidores denominados vulnerables, definidos en el artículo 45 de la Ley 24/2013, de 26 de diciembre, del Sector Eléctrico, como los consumidores de electricidad que cumplan con las características sociales, de consumo y poder adquisitivo que se determinen.

(***) Condiciones de aplicación: Potencia contratada igual o inferior a 10 kW y tensiones no superiores a 1 kV.

(****) De acuerdo con lo establecido en el artículo 17.3 de la Ley 24/2013, las tarifas de último recurso se aplicarán a los consumidores que tengan la condición de vulnerables, y a aquellos otros que, sin cumplir los requisitos para la aplicación del precio voluntario para el pequeño consumidor, transitoriamente no dispongan de un contrato de suministro en vigor con un comercializador en mercado libre.

Fuente: BOE nº 77; 29 de marzo de 2014.

**INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS REGULADOS**

Datos julio de 2018

2.2 PEAJES DE ACCESO A BAJA TENSIÓN (< 1 kV)

(Valores de aplicación a partir del 1/01/2018)

	SIN DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN SUPERVALLE			
	TARIFA 2.0A				TARIFA 2.0DHA				TARIFA 2.0DHS			
	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)	TPA €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)
Potencia ≤ 10 kW	38,043426	0,00%	0,044027	0,00%	38,043426	0,00%	P1: 0,062012 P2: 0,002215	P1: 0,0% P2: 0,0%	38,043426	0,00%	P1: 0,062012 P2: 0,002879 P3: 0,000886	P1: 0,0% P2: 0,0% P3: 0,0%
	SIN DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN				CON DISCRIMINACIÓN SUPERVALLE			
	TARIFA 2.1A				TARIFA 2.1DHA				TARIFA 2.1DHS			
	TP €/kW y año	Δ (%)	TE €/kWh	Δ %*	TP €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)	TP €/kW y año	Δ (%)	TEA €/kWh	Δ (%)
Potencia > 10 kW ≤ 15 kW	44,444710	0,00%	0,05736	0,00%	44,444710	0,00%	P1: 0,074568 P2: 0,013192	P1: 0,0% P2: 0,0%	44,444710	0,00%	P1: 0,074568 P2: 0,017809 P3: 0,006596	P1: 0,0% P2: 0,0% P3: 0,0%
	CON DISCRIMINACIÓN											
	TARIFA 3.0A											
	TP €/kW y año	Δ (%)	TE €/kWh	Δ (%)								
Potencia > 15 kW	P1: 40,728885 P2: 24,437330 P3: 16,291555	P1: 0,0% P2: 0,0% P3: 0,0%	P1: 0,018762 P2: 0,012575 P3: 0,004670	P1: 0,0% P2: 0,0% P3: 0,0%								

NOTA: En 2018 se mantienen los peajes de acceso establecidos en la Orden IET/107/2014, de 31 de enero.

(*) Variación con respecto a peajes anteriores: BOE nº 314; 29 de diciembre de 2016.

Fuente: BOE nº 314; 27 de diciembre de 2017.



Nº 34
Año 2018

INFORME DE PRECIOS ENERGÉTICOS REGULADOS

Datos julio de 2018

2.4 ALQUILER DE CONTADORES:

Tipo de contador	Tarifas del alquiler
Contadores monofásicos sin discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽¹⁾	0,54 €/mes
Contadores trifásicos o doble monofásicos sin discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión ⁽¹⁾	1,53 €/mes
Contadores monofásicos con discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽¹⁾	1,11 €/mes
Contadores trifásicos o doble monofásicos con discriminación horaria y sin posibilidad de telegestión ⁽¹⁾	2,22 €/mes (doble tarifa)- 2,79 €/mes (triple tarifa)
Contadores monofásicos con discriminación horaria y con posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽²⁾	0,81 €/mes
Contadores trifásicos con discriminación horaria y con posibilidad de telegestión para consumidores domésticos ⁽²⁾	1,36 €/mes

NOTAS:

- Se incluyen los costes asociados a la instalación, operación y mantenimiento de los contadores, así como los costes asociados a la verificación.
- (2) Precios provisionales de aplicación a partir del 3 agosto de 2013 hasta que tenga lugar la aprobación del precio definitivo de los contadores electrónicos con base en el informe de la Comisión Nacional de los Mercados y la Competencia.

Fuentes: ⁽¹⁾ BOE nº 312; 29 de diciembre de 2007; ⁽²⁾ BOE nº 185; 3 de agosto de 2013.

Julio, 2018.